

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Comparação entre as condições
paleoceanográficas de Sines e Açores durante o
Ótimo Holocénico e o Último Máximo Glaciar

Joana Ferraz Contente

Dissertação

Mestrado em Ciências Geofísicas

Especialização em Oceanografia

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Comparação entre as condições
paleoceanográficas de Sines e Açores durante o
Ótimo Holocénico e o Último Máximo Glaciar

Joana Ferraz Contente

Dissertação

Mestrado em Ciências Geofísicas

Especialização em Oceanografia

Orientadores: Doutora Fátima Abrantes e Prof. Doutor Joaquim Dias

2014

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem a ajuda e incentivo de algumas pessoas:

- A Doutora Fátima Abrantes por me ter dado a oportunidade de realizar este trabalho e pelo apoio e as revisões que me deu na escrita da tese;
- O Professor Doutor Joaquim Dias por ter aceite co-orientar este trabalho e pelas revisões na escrita da tese;
- A Doutora Teresa Rodrigues pela ajuda na parte dos biomarcadores;
- A Doutora Emília Salgueiro pela ajuda na contagem de foraminíferos;
- A Cristina Ventura pela ajuda na contagem de diatomáceas e foraminíferos;
- A Ana Alberto pela ajuda na identificação de foraminíferos;
- O Warley Soares pela ajuda na análise granulométrica;
- A Cremilde e o Daniel pela ajuda na análise de elementos de origem orgânica;
- O André e a Mária pela ajuda no laboratório para a parte de biomarcadores;
- A minha família pelo apoio e incentivo.

Abstract

This study was intended to compare the oceanographic conditions in two regions, Azores and Sines, during the two most recent extreme climatic events, Last Glacial Maximum and the Holocene Optimum. To obtain the information necessary for the proposed study, were analyzed sequences of marine sediments collected in the two study areas, using proxies to characterize the sediments in temperature, productivity and terrigenous input. These proxies were determining the relative abundance of diatoms, the count of sub-polar foraminifera, particle size analysis, content analysis of elements of organic origin and calcium carbonate, and the determination of biomarkers, both marine and continental origin. The conclusions drawn from this analysis were that the waters of the Azores were always warmer than the Sines, but in Last Glacial Maximum the waters at both sites were slightly cooler, with the hottest temperatures ever in Sines than in the rest of the Portuguese margin, showing the influence of the Azores Current in this area. Regarding primary productivity, it is highest during the Last Glacial Maximum in both sites. However, although the indication is of higher values in the Azores, the effect of exported production is more significant in Sines. In the case of the results of terrigenous input, they indicate Last Glacial Maximum as a wetter period than Holocene Optimum at both locations, however, the proximity of Sines to continent prevent a relative comparison.

Key-words: paleo; oceanographic conditions; last glacial maximum; holocene optimum

Resumo

Com este trabalho pretendia-se comparar as condições oceanográficas em duas regiões, Sines e Açores, durante os dois eventos climáticos extremos mais recentes, o Último Máximo Glaciar e o Ótimo Holocénico. Para obter a informação necessária para o estudo proposto, analisaram-se sequências de sedimentos marinhos recolhidas nas duas áreas em estudo, utilizando indicadores para caracterizar os sedimentos ao nível da temperatura, produtividade e input terrígeno. Estes indicadores foram a determinação da abundância relativa de diatomáceas, a contagem de foraminíferos sub-polares, a análise granulométrica, a análise do conteúdo de elementos de origem orgânica e de carbonato de cálcio, e a determinação de biomarcadores, tanto de origem marinha como continental. As conclusões retiradas desta análise foram que as águas dos Açores foram sempre mais quentes que as de Sines, mas no Último Máximo Glaciar as águas em ambos os locais eram ligeiramente mais frias, com as temperaturas sempre mais quentes em Sines do que no resto da margem Portuguesa, mostrando a influência da Corrente dos Açores nesta zona da margem. Relativamente à produtividade primária, esta é maior durante o Último Máximo Glaciar em ambos os locais. No entanto, ainda que a indicação seja de valores mais elevados nos Açores, o efeito da produção exportada é mais significativo em Sines. No caso dos resultados do input terrígeno, estes indicam o Último Máximo Glaciar como um período mais húmido que o Ótimo Holocénico em ambos os locais, no entanto, a maior proximidade de Sines ao continente impede uma comparação relativa.

Palavras-chave: paleo; condições oceanográficas; último máximo glaciar; ótimo holocénico

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Estratégia Científica	3
1.1.1.	Microfósseis Siliciosos	4
1.1.2.	Foraminíferos Sub-polares	4
1.1.3.	Granulometria – Tamanho do grão.....	4
1.1.4.	Conteúdo em elementos de origem orgânica (C e N) e CaCO_3	5
1.1.5.	Biomarcadores.....	5
2.	Caracterização Oceanográfica Regional.....	6
3.	Materiais e Métodos	8
3.1	Materiais.....	8
3.2	Métodos	10
3.2.1	Amostragem	10
3.2.2	Esfregaços	10
3.2.3	Preparação da Amostra para Análise de Foraminíferos	10
3.2.4	Preparação da Amostra para Análise Granulométrica.....	11
3.2.5	Tratamento de Amostras de Sedimentos para Análise Química Elementar	12
3.2.6	Análise de Biomarcadores.....	14
3.2.7	Cronologia.....	14
4.	Resultados	16
4.1	Determinação da abundância de diatomáceas	16
4.2	Quantificação e Identificação de Foraminíferos.....	17
4.3	Análise Granulométrica.....	19
4.4	Análise Química Elementar.....	21
4.5	Determinação de Biomarcadores.....	23
5.	Discussão.....	26
6.	Conclusão	33
7.	Referências Bibliográficas	33

Índice de Figuras

Fig. 1 - Exemplos de <i>N. pachyderma</i> sinistral. Retirado de Martins <i>et al</i> (2004).	4
Fig. 2 - Representação esquemática da circulação na margem oeste ibérica. 1- Corrente de Portugal (PoC), 2- Braço Este da Corrente de Portugal, 3- Frente Oeste Ibérica de Inverno (WIWiF), 4- Corrente Ibérica para o Pólo (IPC), 5- Braço Este da Corrente dos Açores (ACEB), 6- recirculação norte no Golfo de Cádiz, 7- Meandros/vórtices (eddies), 8- SWODDIES (Slope Water Oceanic Eddies), 9- Meddies (<i>Mediterranean Water eddies</i>), 10- braço alternativo da IPC, 11- Pluma do Oeste da Ibéria (WIBP). Retirado de Peliz <i>et al</i> (2005).	7
Fig. 3 - Localização das sondagens onde foram recolhidas as amostras utilizadas neste trabalho.	9
Fig. 4 – Colheita de amostra.....	10
Fig. 5 – Preparação dos esfregaços.....	10
Fig. 6 – Liofilizador Heto PowerDry PL3000.....	11
Fig. 7 – Passos da lavagem da amostra: a) desagregação, b) lavagem, c) passagem da fracção maior que 63 µm e d) secagem dos filtros.....	11
Fig. 8 – Coulter LS230.....	12
Fig. 9 – Colheita da amostra para análise química.....	12
Fig. 10 – Micromoinho <i>Pulverisette 7</i>	13
Fig. 11 – Gráfico demonstrativo do procedimento da calcinação.	13
Fig. 12 – Analisador Elementar CHNS-932 da marca LECO Instrumentos.	13
Fig. 13 – Gráfico com relação Idade (ka BP) vs Profundidade (cm) para os níveis datados ao longo dos cores de Sines e Açores.	15
Fig. 14 – Distribuição em profundidade da abundância de diatomáceas no core de Sines.	16
Fig. 15 – Distribuição em profundidade da abundância de diatomáceas no core dos Açores.....	17
Fig. 16 – Distribuição em profundidade de: a) percentagem de <i>N. pachyderma</i> sinistral, b) número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento e c) número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, no core de Sines.	18
Fig. 17 – Distribuição em profundidade de: a) percentagem de <i>N. pachyderma</i> sinistral, b) número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento e c) número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, no core dos Açores.	19
Fig. 18 – Gráfico referente à caracterização granulométrica do sedimento do core de Sines: a) valor médio do grão em µm, b) percentagem de argila, c) percentagem de silte e d) percentagem de areia.	20
Fig. 19 - Composição granulométrica total de cada amostra do core de Sines.	21

Fig. 20 – Distribuição em profundidade ao longo do core de Sines das percentagens de peso em: a) C _{org} , b) N _{org} , c) C _{org} /N e d) CaCO ₃	22
Fig. 21 – Distribuição em profundidade ao longo do core dos Açores das percentagens de peso em: a) C _{org} , b) N _{org} , c) C _{org} /N e d) CaCO ₃	23
Fig. 22 – Distribuição em profundidade ao longo do core de Sines de: a) U_{37}^k , b) SST (°C), c) [n-alk] ng/g, d) [n-OH] ng/g e e) [37alq] ng/g.	24
Fig. 23 – Distribuição em profundidade ao longo do core dos Açores de: a) U_{37}^k , b) SST (°C), c) [n-alk] ng/g, d) [n-OH] ng/g e e) [37alq] ng/g.	25
Fig. 24 – Distribuição temporal de: a) Ca/Ti, b) SST em °C, c) percentagem em <i>N. pachyderma</i> sinistral, d) valor médio do grão em µm, e) percentagem em areia, f) concentração de n-alcanos em ng/g, g) percentagem de peso em CaCO ₃ , h) percentagem de peso em Corg, i) nº de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento, j) nº de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, k) percentagem relativa de diatomáceas, l) relação entre Corg e Ntotal, ao longo do core de Sines.	28
Fig. 25 – Distribuição temporal de: a) δ ¹⁸ O em ‰, b) SST em °C, c) percentagem em <i>N. pachyderma</i> sinistral, d) concentração de n-alcanos em ng/g, e) percentagem de peso em CaCO ₃ , f) percentagem de peso em Corg, g) nº de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento, h) nº de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, i) percentagem relativa de diatomáceas e j) relação entre Corg e Ntotal, ao longo do core dos Açores.	31
Fig. 26 – Comparação entre a distribuição temporal de: a) temperatura de superfície do mar em °C, b) percentagem de <i>N. pachyderma</i> sinistral, c) concentração de n-alcanos em ng/g, d) percentagem de peso em CaCO ₃ , e) percentagem de peso em Corg, f) número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento, g) número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, h) percentagem relativa de diatomáceas e i) relação Corg/Ntotal, em ambos os cores.	32

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela indicativa das profundidades analisadas neste trabalho para cada core.	9
Tabela 2 – Tabela com idades ka BP calculadas para os níveis estudados dos cores de Sines e Açores.	15
Tabela 3 – Tabela referente à abundância de diatomáceas no core de Sines.	16
Tabela 4 – Tabela referente à abundância de diatomáceas no core dos Açores.	17
Tabela 5 – Tabela referente às contagens de foraminíferos feitas para o core de Sines.....	18
Tabela 6 – Tabela referente às contagens de foraminíferos feitas para o core dos Açores.	19

Tabela 7 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise granulométrica para o core de Sines.	20
Tabela 8 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise química elementar para o core de Sines.	22
Tabela 9 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise química elementar para o core dos Açores.....	23
Tabela 10 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise de biomarcadores para o core de Sines.	24
Tabela 11 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise de biomarcadores para o core dos Açores.....	26

1. Introdução

As alterações climáticas globais são cada vez mais um assunto de interesse para a sociedade porque os efeitos destas, como o aumento de eventos climáticos extremos (ex: ondas de calor, vagas de frio, cheias, secas), possível aumento do nível médio do mar, terem um grande impacto na economia e na saúde. Por isso, é cada vez mais importante o estudo das variações climáticas no passado da Terra, pois constitui um importante contributo para a compreensão das actuais e futuras alterações climáticas.

Dada a importância dos processos oceânicos na determinação das condições climáticas quer a nível global quer a nível regional, o conhecimento do oceano no passado, a paleoceanografia, constitui uma importante ferramenta para o estudo do clima do passado e as suas variações a várias escalas temporais. A partir da análise dos sedimentos marinhos, especialmente os recolhidos no oceano profundo, é possível reconstruir parte da história dos oceanos, como a evolução morfológica das suas bacias, das correntes superficiais e profundas, da produtividade biológica, etc. Para isso, utiliza-se uma grande variedade de métodos que a partir da informação contida nos microfósseis preservados nos sedimentos, bem como o conteúdo destes em matéria orgânica e composição elementar e isotópica de conchas, etc, dão indicações sobre a biologia, química e física, do oceano no passado. Informação relativa às condições de produtividade é obtida a partir da concentração de Carbono Orgânico (C_{org}) e de carbonatos ($CaCO_3$), por exemplo. A reconstrução da presença e movimento de icebergs durante fases de degelo é indicada pela proporção de *Ice Rafted Debris* – IRDs nos sedimentos. Por outro lado, reconstruir a história da circulação superficial do oceano é possível através do estudo de organismos planctónicos, por viverem na camada superficial do oceano e serem os mais sensíveis a alterações ambientais (Wefer *et al*, 1999).

O clima da Terra é determinado pela distribuição de calor e de vapor de água na atmosfera, tendo os oceanos um papel muito importante no controlo da distribuição dos mesmos, pois ocupam 70% da área do planeta e têm uma maior capacidade de conservar o calor que a atmosfera. Variações pequenas entre o calor ganho e o calor perdido podem alterar a quantidade total de calor na atmosfera, alterando o clima da Terra, tal como evidenciado nos registos do passado. Os oceanos capturam uma grande percentagem da energia solar que atinge a superfície terrestre, e transferem também uma grande parte para a atmosfera como calor latente de vaporização, mecanismo que é responsável pela moderação das diferenças climáticas entre as regiões tropicais e polares (Segar, 1998).

As correntes e a mistura são os principais meios de distribuição de calor, dos químicos dissolvidos, dos sedimentos em suspensão e das plantas e animais, nos oceanos (Segar, 1998). Existem dois tipos de circulação no oceano: a circulação superficial e a circulação profunda ou *termohalina*. As correntes superficiais têm como principal fonte de energia os ventos, sendo por isso chamadas de correntes geradas pelo vento. É o atrito causado pelo vento que causa o movimento nas águas superficiais sendo, por exemplo, responsável pela formação de grandes giros oceânicos anticiclónicos na região subtropical de ambos os hemisférios (Knauss, 1997). As correntes profundas são geradas por convecção causada por variações na densidade das águas superficiais nas altas latitudes, razão porque se designa por circulação termohalina (Segar, 1998). Esta circulação profunda pode ser comparada, de forma grosseira, a uma gigante correia transportadora da água que é arrefecida perto dos Pólos, transportada ao longo do oceano profundo, onde se vai misturar com outras massas de água, regressa à superfície, longe do local onde afundou, é aquecida e transportada de novo para um local onde arrefece, e reinicia-se o ciclo. A circulação oceânica é portanto uma importante forma de transporte de calor bem como de químicos dissolvidos entre a superfície e o fundo do oceano. Consequentemente, alterações na circulação podem causar e ser causadas por alterações no clima, e podem causar

mudanças na distribuição de químicos dissolvidos, afectando directamente as comunidades biológicas dos oceanos. É também através da circulação oceânica que se transporta para o oceano profundo, uma grande parte do dióxido de carbono (CO₂) resultante da queima de combustíveis fósseis. Um dos processos que mais contribui para esta exportação de C é o bombeamento biológico, ou seja a produtividade primária no oceano, processo que consome CO₂, da atmosfera e o transforma em matéria orgânica que é entretanto exportada para os fundos oceânicos e preservada nos sedimentos profundos. Um processo cuja magnitude e variação ao longo do tempo é fundamental conhecer para compreender as alterações climáticas globais (Segar, 1998).

No que respeita à margem ocidental ibérica, a circulação oceânica superficial é dominada, a norte e ao largo, pela Corrente de Portugal com transporte predominantemente para sul, tendo esta menos influência na zona mais a sul da margem. Uma contracorrente costeira em direcção ao Pólo, a *Iberian Poleward Current* (IPC) (Peliz *et al*, 2005), é gerada principalmente pela advecção para este de águas relativamente quentes e salinas na área mais a sul da margem continental portuguesa, sendo deflectida para norte.

O fenómeno mais importante da margem portuguesa é o afloramento costeiro (“upwelling”), que ocorre entre o fim da primavera e o fim do verão, associado aos ventos de norte e a corrente subsuperficial para sul sobre o talude superior, a Corrente Costeira de Portugal (Fiúza, 1984). Este processo caracteriza-se pelo afloramento das águas sub-superficiais mais frias e ricas em nutrientes até à superfície, sendo responsável por um aumento de produtividade nestas águas.

Relativamente à circulação nas camadas intermédias, existem duas massas de água importantes: a massa de Água Central do Atlântico Nordeste (ENACW) e a Água Mediterrânica (MW). A ENACW é composta por uma massa de água de origem sub-polar, e composta por outra de origem subtropical. Esta última é formada ao longo da Frente dos Açores e tem movimento para este. Quando atinge a margem portuguesa bifurca-se para sul, contribuindo para a Corrente das Canárias, e para norte, contribuindo para a IPC, que tal como referido acima, existe nomeadamente nos meses de inverno.

A MW é caracterizada por valores elevados de salinidade e temperatura. Quando entra no Oceano Atlântico forma dois núcleos principais: um núcleo superior, a cerca de 800 m, caracterizado por um máximo de temperatura, e um núcleo inferior, a cerca de 1200 m, caracterizado por um máximo de salinidade (Fiúza, 1998). Ambos os núcleos movimentam-se para norte, sendo que o núcleo superior apresenta sinais mais fracos que o núcleo inferior na região mais a norte da margem oeste ibérica.

Na região dos Açores, o aspecto primordial da circulação superficial é a Corrente dos Açores (AzC) que se localiza, aproximadamente, entre 32 e 35°N, representa um braço sul da Corrente do Golfo, e tem direcção para o Golfo de Cádiz. A norte da AzC situa-se a Contracorrente dos Açores, com direcção para oeste, a cerca de 38°N (Kida *et al*, 2008). O campo de densidade associado à AzC é marcado por fortes gradientes de temperatura e salinidade através da corrente, criando uma zona frontal designada de Frente dos Açores. Esta frente tem um papel importante no processo de subducção que ocorre no giro subtropical do Atlântico Nordeste, e separa a massa de água mais quente e salina, originada no Mar dos Sargãos, da massa de água mais fria e menos salina do Atlântico Norte (Schiebel *et al*, 2002).

Ao longo dos últimos 2.6 Ma da história da Terra, o Pleistocénico, o clima tem alternado entre períodos frios, os glaciares (temperaturas cerca de 10°C abaixo das actuais) e os períodos interglaciares (temperaturas próximas às actuais). Durante os períodos glaciares, a calote de gelo Ártica expandiu-se até latitudes mais baixas do que actualmente (Segar, 1998). Esta alternância de ciclos climáticos teve uma influência clara na circulação oceânica global e do Atlântico norte em particular. A alternância entre ciclos glaciares e interglaciares é determinada por variações orbitais, que podem ser de três tipos: obliquidade,

excentricidade e precessão. À medida que a obliquidade (variação do ângulo do eixo de rotação da terra) aumenta, a quantidade de radiação solar recebida nas altas latitudes aumenta durante o verão, e diminui no inverno, e tem uma ciclicidade de 41.000 anos. A excentricidade (ciclicidade de 100.000 anos) corresponde à variação da forma da órbita da Terra que oscila entre circular e elíptica, e tem influência na quantidade de radiação solar que incide no topo da atmosfera terrestre. Por último, a precessão (ciclicidade de 21.000 anos) está relacionada com a distância da Terra ao Sol no solstício de Verão, e afecta a distribuição hemisférica da energia solar (Buchdahl, 1999).

O Último Máximo Glaciar (UMG) ocorreu entre 19-23 ka BP (*before present*) e caracterizou-se pelo máximo de extensão global da calote de gelo Ártica, e consequentemente levou a uma diminuição do nível médio do mar de cerca de 120-130 m. Na margem Portuguesa, registos da temperatura da superfície do oceano (SST) para os últimos 21 ka, indicam o UMG como um período de clima ameno, com uma temperatura de superfície do mar média de 13°C, cerca de 5°C mais baixa do que actualmente (Bard *et al*, 2000). Salgueiro, 2006 mostra a existência de um gradiente latitudinal ao longo da margem, com temperaturas mais altas na região sul.

O evento Heinrich 1 (H1), que ocorreu entre 15,5-18 ka BP, é resultante de grandes e abruptas descargas de gelo para o Atlântico Norte, enquanto que o *Younger Dryas* (YD) (há cerca de 12 ka BP) está relacionado com episódios de intensas descargas de água doce proveniente do Lago Agassiz, que perturbaram a circulação termohalina desencadeando um arrefecimento atmosférico e oceânico. Entre estes dois eventos ocorreu um episódio quente, o Bølling-Allerød (B-A), entre 13-15 ka BP. Após o YD, por volta de 11,5 ka BP iniciou-se o actual interglaciar, o Holocénico, (Rodrigues *et al*, 2010) com uma subida de temperatura de superfície do mar de 7°C (de 10°C para 17°C) em 40 anos (de 11,6 até 11,56 ka BP), sendo o intervalo de temperaturas mais elevadas ocorridas no início deste interglaciar chamado de Ótimo Holocénico (OH). O evento mais frio dos últimos 21 ka foi no entanto o evento H1, altura em que as temperaturas desceram cerca de 10°C (Salgueiro, 2006, Rodrigues *et al*, 2010, Abreu *et al*, 2003).

Na região dos Açores Schwab *et al* (2012) demonstraram que a Frente dos Açores migrou para norte e para sul da sua posição actual durante períodos glaciares e interglaciares respectivamente, processo que parece ter acontecido também em escalas de tempo mais curtas. Por outro lado, devido à interacção entre o sistema da Corrente dos Açores e a MOW (*Mediterranean Outflow Water*), e o facto da intensificação de uma resultar na intensificação da outra, as indicações de que a MOW se terá intensificado durante os períodos glaciares (Voelker *et al*, 2006) corrobora as indicações de uma Corrente dos Açores mais forte. Dado que a Frente dos Açores associada à corrente com o mesmo nome, constitui uma zona de grande produtividade primária, intensificações na corrente serão responsáveis, em parte, pelo aumento da produtividade durante a deglaciação e o início do Holocénico, e durante os eventos H1 e YD.

Com este trabalho pretende-se comparar as condições oceanográficas nas regiões dos Açores e de Sines, durante os dois eventos climáticos extremos mais recentes, o Último Máximo Glaciar e o Ótimo Holocénico. Sendo os Açores a zona de origem da Corrente dos Açores e Sines, uma área da margem Portuguesa influenciada pela *Iberian Poleward Current* (IPC) que é um dos braços da AzC que corre ao largo da margem Portuguesa durante o período de inverno (Peliz *et al*, 2005).

1.1 Estratégia Científica

Por forma a obter a informação necessária ao estudo acima proposto, utilizaram-se sequências de sedimentos marinhos recolhidas nas duas áreas em estudo. Os indicadores utilizados para a caracterização geral dos sedimentos foram a determinação da abundância relativa de microfósseis siliciosos (diatomáceas), contagem de foraminíferos sub-polares (N.

pachyderma sinistral), análise granulométrica, a análise do conteúdo de elementos de origem orgânica (Carbono (C) e Azoto (N)) e de carbonato de cálcio (CaCO_3), e a determinação de compostos orgânicos, designados por biomarcadores, e que podem ser de origem marinha (alquenonas) e continental (n-alcanos e n-álcoois).

1.1.1. Microfósseis Siliciosos

As diatomáceas são microalgas siliciosas que podem ser bênticas e planctónicas e podem ser encontradas numa grande variedade de habitats. Como constituintes do fitoplâncton marinho estão na base da cadeia alimentar dos oceanos, pelo que são excelentes indicadores das condições de produtividade primária.

1.1.2. Foraminíferos Sub-polares

Foraminíferos planctónicos são pequenos organismos unicelulares (protozoários) encontrados em todos os oceanos. Cada espécie tem as suas condições óptimas de crescimento e incorpora nos esqueletos constituídos de calcite as características da massa de água em que habita. Por isso são uma das ferramentas paleoceanográficas mais utilizadas para a reconstrução da circulação oceanográfica do passado (Salgueiro, 2006).

Neogloboquadrina pachyderma (*N. pachyderma*) habita águas profundas, é herbívoro, e segundo os dados existentes alimenta-se preferencialmente de diatomáceas. Como tal, é uma espécie que responde à abundância de fitoplâncton, desenvolvendo-se na termoclina sazonal em associação com concentrações mais elevadas de clorofila. Os espécimes com enrolamento sinistrógiro (*N. pachyderma* sinistral, Fig. 1) têm como condições óptimas para o seu desenvolvimento águas com temperaturas entre 0-4°C e salinidades entre 34.5-34.75 ‰ (Martins *et al*, 2004). Por essa razão vivem actualmente acima de 70° de latitude, sendo actualmente a única espécie presente no Oceano Ártico e no Mar de Ross, na Antárctica. A presença desta espécie na margem Portuguesa indica a presença de águas frias e pouco salgadas e tem por isso sido usada como marcador dos eventos de Heinrich.

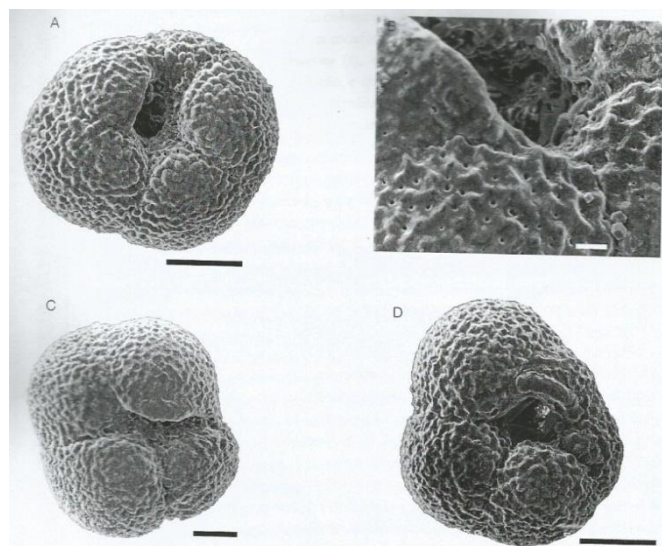


Fig. 1 - Exemplos de *N. pachyderma* sinistral. Retirado de Martins *et al* (2004).

1.1.3. Granulometria – Tamanho do grão

A distribuição do tamanho do grão numa amostra de sedimentos pode reflectir a energia do meio, ou seja, a energia do fluido e a sua capacidade de colocar partículas em suspensão.

Quanto maior for a velocidade das correntes de fundo maior é a sua capacidade de transporte o que resulta na presença de sedimentos mais grosseiros (Abrantes *et al.*, 2001).

1.1.4. Conteúdo em elementos de origem orgânica (C e N) e CaCO₃

A produção primária (ou produtividade) do fitoplâncton marinho é um factor importante no sistema climático, por ter influência na distribuição de CO₂ entre o oceano e a atmosfera. Os produtores primários, que habitam as águas superficiais, convertem o CO₂ em matéria orgânica (CO₂ + H₂O ↔ CH₂O + O₂) e parte desta matéria orgânica é exportada para águas mais profundas onde fica preservada. A forma de estimar a quantidade de matéria orgânica preservada é através da determinação da concentração nos sedimentos, dos elementos de origem biológica tais como C e N (Rühlemann, 1999).

O carbonato de cálcio (CaCO₃) é segregado por alguns organismos planctónicos (fitoplâncton e zooplâncton) para construir as suas conchas, pelo que a sua presença nos sedimentos é indicadora da abundância desses mesmos organismos à data em que os sedimentos se formaram.

1.1.5. Biomarcadores

Os biomarcadores, ou marcadores biológicos, são compostos biogénicos cuja presença fornece informações acerca da sua fonte e as condições ambientais. Podem ser de origem marinha ou terrestre, permitindo assim estudar a interacção continente-oceano.

1.1.5.1. Os n-alcanos e n-álcoois

Os n-alcanos e n-álcoois de cadeia longa são compostos de baixa solubilidade em água e baixa volatilidade, que fazem parte das cutículas das plantas vasculares (Eglinton e Hamilton, 1967). Por serem muito resistentes à degradação é possível a sua detecção em sedimentos de todos os oceanos sendo o seu transporte desde os continentes tanto eólico como fluvial (Gagosian *et al.*, 1987; Poynter *et al.*, 1989).

1.1.5.2. As alquenonas

As alquenonas são metil-etil-cetonas de 37 a 42 átomos de carbono, com 2, 3 e 4 insaturações. Por terem uma estrutura molecular particular, têm uma excepcional resistência à degradação o que as torna muito úteis como marcador molecular. A composição relativa e o grau de insaturação das alquenonas sintetizadas pela alga *Haptophytea* estão fortemente relacionadas com a temperatura do meio ambiente onde se formam. Por isso, em ambientes frios, predominam os compostos mais insaturados (C_{37:3} e C_{37:4}) enquanto que em ambientes temperados o grau de insaturação diminui de forma a predominarem os compostos menos insaturados (C_{37:2}). A partir de ensaios de *Emiliania huxleyi*, feitos em laboratório, Brassel *et al.* (1986) definiram um índice de insaturação U_{37}^k :

$$U_{37}^k = \frac{[C_{37:2}] - [C_{37:4}]}{[C_{37:2}] + [C_{37:3}] + [C_{37:4}]} \quad (1)$$

Como a alquenona tetra-insaturada apresenta concentrações muito baixas e não é sintetizada a temperaturas superiores a 8°C, Prahl e Wakeman (1987) propuseram um índice simplificado $U_{37}^{k'}$ em que foi eliminada a alquenona tetra-insaturada:

$$U_{37}^{k'} = \frac{[C_{37:2}]}{[C_{37:2}] + [C_{37:3}]} \quad (2)$$

Experiências com cultivos de algas permitiram ainda a estes autores definir uma relação linear entre o índice de insaturação e valores de temperatura de superfície do mar entre 8°C e 25°C:

$$U_{37}^{k'} = 0.040 \times T - 0.110 \quad (3)$$

Posteriormente, Müller *et al.* (1998) propuseram uma calibração global do índice $U_{37}^{k'}$ para temperaturas entre 0°C e 29°C, válida para todos os oceanos entre os 60°N e os 60°S:

$$U_{37}^{k'} = 0.033 \times SST - 0.044 \quad (4)$$

2. Caracterização Oceanográfica Regional

Na Fig. 2, encontra-se esquematizada a circulação oceânica na margem Ibérica nos meses de inverno, que de acordo com Peliz *et al.* (2005) está separada em duas áreas:

- Uma área a norte, onde a circulação é dominada pela presença da Corrente de Portugal (CP) (1) e o transporte é predominantemente para sul, enquanto a IPC está confinada ao talude. A oeste da IPC, entre o Banco da Galiza e a costa, é comum observar intrusões frias com direcção para sul, representadas neste esquema como um braço da CP (2).
- Na área a sul, marcada pela frente do oeste da Ibéria (WIFI, 3), a CP tem menos influência e a advecção para este de águas relativamente quentes e salinas torna-se importante e constitui o principal mecanismo de geração da corrente para o Pólo. Perto da costa, esta frente é deflectida para norte, gerando a IPC (4). Um segundo sistema frontal a sul de 36°N representa um braço da AzC (5).

A Oscilação do Atlântico Norte (NAO) descreve parte da variabilidade climática no Atlântico Norte, especialmente durante o inverno. É caracterizada por um índice calculado pela diferença entre a pressão atmosférica ao nível do mar entre Stykkidhólmur e Lisboa (Hurrell, 1995; Hurrell *et al.*, 2001). Quando a NAO é positiva, a temperatura atmosférica é mais elevada e geram-se fortes ventos de norte que geram upwelling intenso ao longo da margem oeste Portuguesa. Entre Maio e Setembro, quando o upwelling predomina na margem Ibérica, as águas que afloram à superfície, formam uma banda de águas frias e ricas em nutrientes ao longo da costa oeste com cerca de 50 km de extensão para o largo. A extensão destas águas para o oceano aberto depende não só da batimetria e da morfologia costeira, mas também das condições locais de vento (ventos de norte ao longo da costa oeste e ventos de oeste ao longo da costa sul) (Fiúza, 1983).

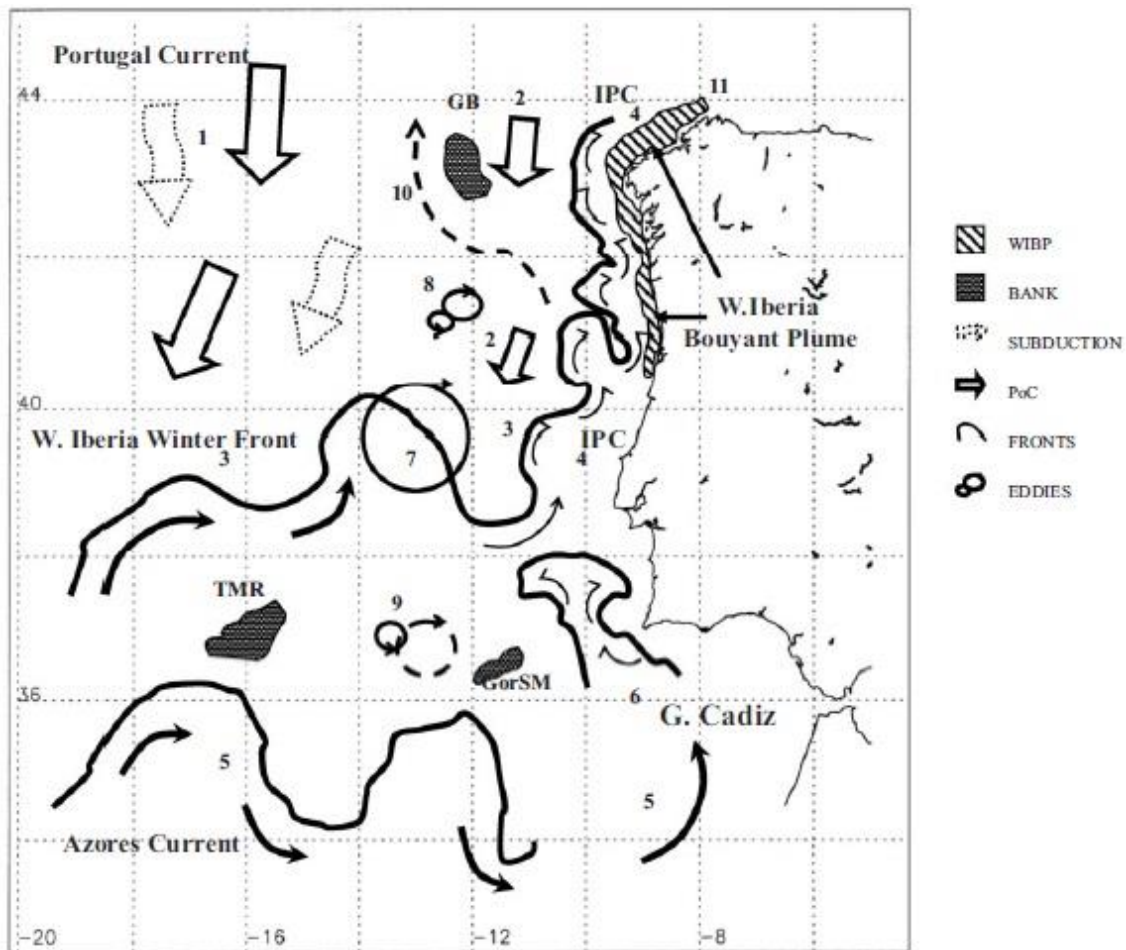


Fig. 2 - Representação esquemática da circulação na margem oeste ibérica. 1- Corrente de Portugal (PoC), 2- Braço Este da Corrente de Portugal, 3- Frente Oeste Ibérica de Inverno (W.Iberia Winter Front), 4- Corrente Ibérica para o Pólo (IPC), 5- Braço Este da Corrente dos Açores (ACEB), 6- recirculação norte no Golfo de Cádiz, 7- Meandros/vórtices (eddies), 8- SWODDIES (Slope Water Oceanic Eddies), 9- Meddies (Mediterranean Water eddies), 10- braço alternativo da IPC, 11- Pluma do Oeste da Ibéria (WIBP). Retirado de Peliz *et al* (2005).

No que respeita à circulação intermédia, existem duas importantes massas de água a considerar, a massa de Água Central do Atlântico Nordeste (ENACW) e a Água Mediterrânica (MW).

Fiúza (1984) considera que a ENACW corresponde na realidade a duas massas de água com diferentes origens:

- Uma massa de água de origem subtropical, a ENACWst, mais quente e salina, formada ao longo da Frente dos Açores a cerca de 35°N, como resultado da subducção das águas superficiais, devida à forte evaporação e arrefecimento existente no inverno e pela subsequente advecção para este da Corrente dos Açores.
- A outra massa de água é de origem sub-polar, por isso menos salina e mais fria, a ENACWsp, e é formada no lado este do Atlântico Norte, a norte de 46°N, pelo arrefecimento ocorrido no inverno e pela convecção profunda.

A Água Mediterrânica (MW) é caracterizada por valores elevados de salinidade e temperatura, forma-se no Mar Mediterrâneo e entra no Oceano Atlântico, pelo Estreito de Gibraltar. Já no Atlântico, por processos de mistura com as águas que se posicionam acima e abaixo da MW, formam-se dois núcleos principais: um núcleo superior (MW_U), a cerca de 800 m, caracterizado por um máximo de temperatura, e um núcleo inferior (MW_L), próximo

dos 1200 m, caracterizado por um máximo de salinidade. O afastamento dos núcleos da MW para fora da costa oeste portuguesa está fortemente relacionado com o fluxo com direcção para o Pólo da Corrente Subsuperficial de Portugal (Fiúza, 1998).

A Corrente dos Açores (AzC) é um fluxo zonal de 7-13 Sv, superficial, que se localiza entre os 32° e os 35°N (Kida *et al*, 2008). Esta corrente representa um braço sul da Corrente do Golfo e desloca-se para este em direcção ao Golfo de Cádiz. A Contracorrente dos Açores tem direcção para oeste e é encontrada a norte da Corrente dos Açores a cerca de 38°N.

A zona de forte gradiente de temperatura e salinidade associada à corrente dos Açores tem o nome de Frente dos Açores e possui um papel importante no processo de subducção que ocorre no giro subtropical do Atlântico Nordeste. Esta frente separa uma massa de água mais quente e salina, originada no Mar dos Sargãos, da massa de água mais fria e menos salina do Atlântico Norte. A estrutura vertical da Frente dos Açores é caracterizada por uma camada superior uniforme durante o outono, uma termoclina sazonal, e uma salinidade e temperatura máximas nas camadas intermédias (Schiebel *et al*, 2002).

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Para este trabalho amostraram-se dois cores recolhidos na margem Portuguesa, a sondagem SHAK-03-6K, localizada ao largo de Sines (37°42.45'N , 10°29.542'W) à profundidade 3740 m, e a sondagem KNR-197-10 GGC-55 localizada na região dos Açores (37°05.458'N , 31°56.049'W) à profundidade 2127 m (Fig. 3). Para a sequência de Sines foram seleccionados 17 níveis correspondentes a profundidades entre 65 e 251 cm, e para a sequência dos Açores foram seleccionados 15 níveis de 24 a 125 cm (Tabela 1). O sedimento obtido para cada um dos níveis seleccionados foi preparado e analisado com vista à realização de esfregaços, análise granulométrica, análise química elementar e biomarcadores, e ainda à determinação da presença de foraminíferos sub-polares e detritos de origem glacial.

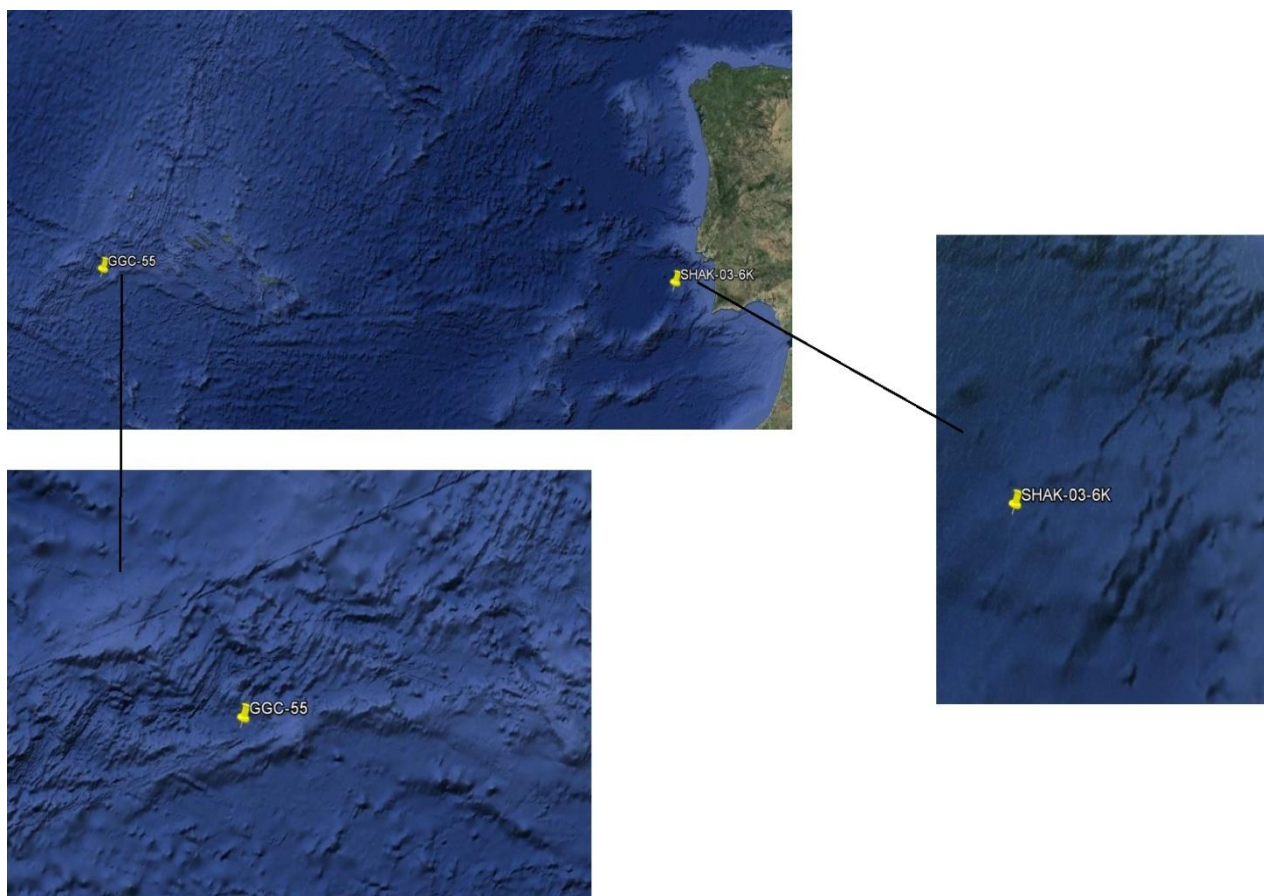


Fig. 3 - Localização das sondagens onde foram recolhidas as amostras utilizadas neste trabalho.

Tabela 1 - Tabela indicativa das profundidades analisadas neste trabalho para cada core.

SHAK-03-6K (Profundidade amostrada em cm)	KNR-197-10 GGC-55 (Profundidade amostrada em cm)
65-66	24-25
75-76	28-29
85-86	36-37
90-91	40-41
95-96	44-45
100-101	56-57
105-106	64-65
110-111	72-73
130-131	80-81
150-151	96-97
170-171	100-101
190-191	104-105
210-211	108-109
220-221	116-117
230-231	124-125
240-241	
250-251	

O trabalho laboratorial foi feito nos Laboratórios da Divisão de Geologia e Georecursos Marinhos do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

A metodologia utilizada e a seguir descrita foi baseada nos Procedimentos analíticos em prática nos Laboratório de Sedimentologia e Micropaleontologia e Laboratório de Biogeoquímica.

3.2 Métodos

3.2.1 Amostragem

No caso do core SHAK-03-6K, todo o sedimento foi amostrado continuamente em secções de 1 cm. Cada uma destas fatias foi depois dividida em porções com volumes de 16 cc para análise de foraminíferos e análise granulométrica, 2 cc para análise química elementar, 2cc para diatomáceas, 5 cc para pólen e 7 cc para análise de biomarcadores. O core dos Açores foi cedido pelo Prof. Lloyd Kegwin do Hoods-Hole Oceanographic Institute dos EUA, e o material disponível apenas permitiu a análise de 1 cc para análise química elementar, que foi também utilizado para análise de biomarcadores, e o restante foi utilizado para análise de foraminíferos, como exemplificado na Fig. 4.

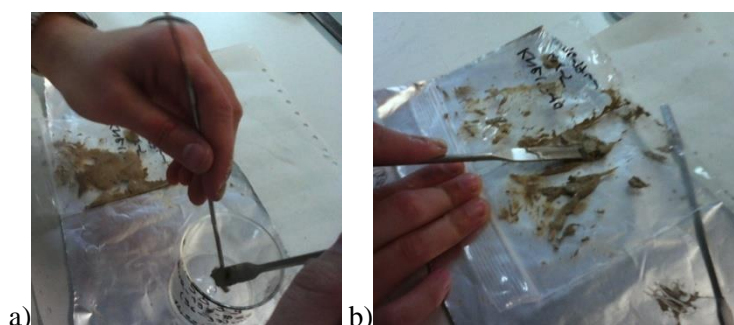


Fig. 4 – Colheita de amostra.

3.2.2 Esfregaços

O esfregaço corresponde a uma lâmina delgada onde se espalha uma pequena quantidade do sedimento original, e que depois de montada com um meio óptico apropriado, é observada ao microscópio para determinação da composição geral do sedimento. A sua preparação está demonstrada na Fig. 5.

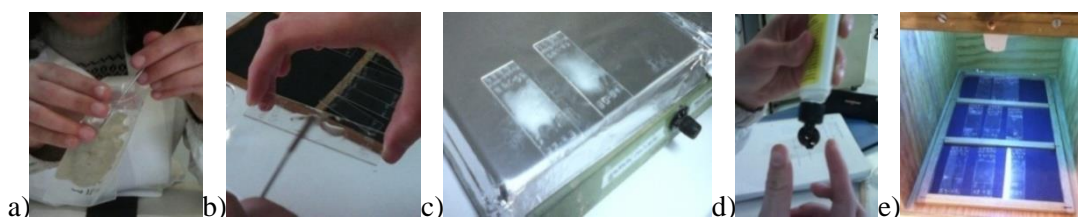


Fig. 5 – Preparação dos esfregaços.

3.2.3 Preparação da Amostra para Análise de Foraminíferos

Para a análise de foraminíferos, após congelação, as amostras são levadas a um liofilizador (Fig. 6) para secagem das mesmas mediante eliminação do seu conteúdo de água por congelamento e condensação.



Fig. 6 – Liofilizador Heto PowerDry PL3000.

Após a secagem estar completa, o sedimento é lavado e separado em duas fracções. A fracção menor que 63 μm é utilizada para análise granulométrica e a fracção maior que 63 μm utilizada para análise de foraminíferos, e faz-se de acordo com os passos demonstrados na Fig. 7:

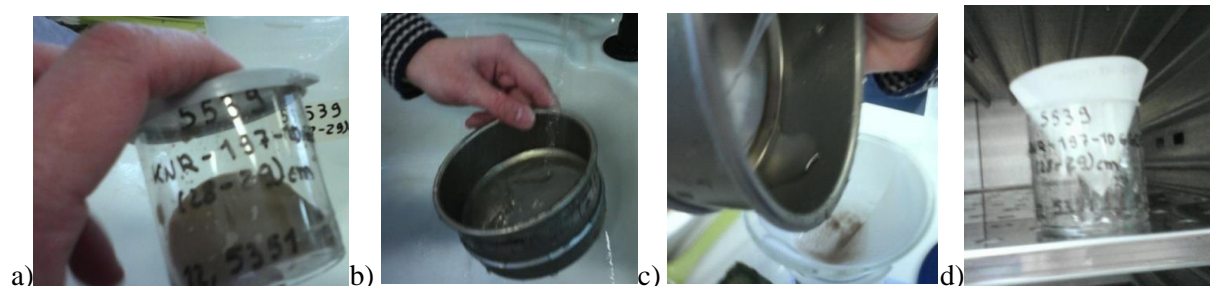


Fig. 7 – Passos da lavagem da amostra: a) desagregação, b) lavagem, c) passagem da fracção maior que 63 μm e d) secagem dos filtros.

A identificação de foraminíferos é feita na fracção > 150 μm após quarteamento para a obtenção de 300-600 indivíduos. Nestas amostras foram também contados os grãos minerais de forma irregular, que se considera terem sido transportados por gelo.

3.2.4 Preparação da Amostra para Análise Granulométrica

O primeiro passo para a preparação do sedimento para análise granulométrica consiste na remoção da matéria orgânica existente no sedimento. Para isso junta-se-lhe água oxigenada (H_2O_2 130v) à qual se juntou amónia, solução que vai oxidar a matéria orgânica existente no sedimento, libertando CO_2 . Quando a amostra deixa de apresentar reacção à temperatura ambiente, deve ser aquecida para garantir a completa eliminação da matéria orgânica. Para isso colocam-se as amostras num banho-maria a 60°C durante 24 horas.

O excedente de água existente nas amostras é retirado com a ajuda de um sistema de velas de filtragem. Estas velas são cilindros porosos de diatomite, com carvão activado no seu interior. São fechadas na extremidade inferior, tendo a parte superior ligada a um sistema de vácuo que extrai a água do sedimento. Cada amostra deve ser lavada 6 vezes, extraindo a água até aos 200 ml em cada lavagem.

A análise granulométrica tem como objectivo medir a distribuição do tamanho das partículas. Neste caso, utilizou-se o equipamento Coulter LS230 (Fig. 8), que permite a análise de partículas com diâmetro entre 0,04 e 2000 μm . Este equipamento, possui um sistema óptico de difracção de raio laser e um outro baseado na luz polarizada, com dois sistemas de polarização, um horizontal e outro vertical, conhecido como P.I.D.S. (Polarization Intensity

Differential of Scattered light). Este sistema está baseado na análise de forma, segundo o qual a partícula assume sempre a forma esférica, calculando a razão entre o diâmetro menor sobre o diâmetro maior. O Coulter LS230 é automatizado e controlado por software próprio, o qual permite processar os dados, apresentá-los na forma de curvas de distribuição granulométrica e obter vários parâmetros estatísticos.

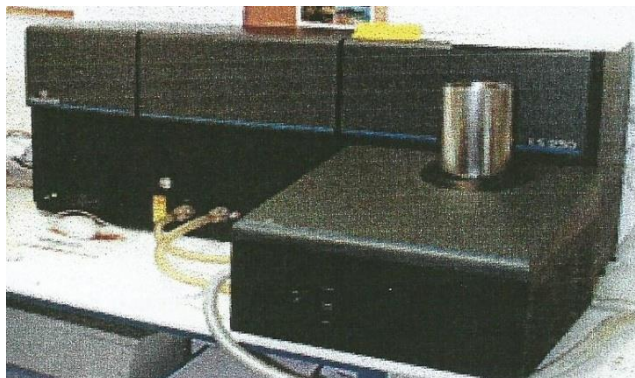


Fig. 8 – Coulter LS230.

A análise granulométrica fornece informação acerca da génese, transporte e deposição do sedimento, por isso, é fundamental para a caracterização de depósitos sedimentares e da dinâmica sedimentar que os originou.

Considera-se argila o sedimento com tamanho inferior a 4 μm , silte o sedimento entre 4 e 63 μm e areia o sedimento maior que 63 μm .

3.2.5 Tratamento de Amostras de Sedimentos para Análise Química Elementar

O sedimento para análise química elementar é colhido com seringas, para garantir a obtenção de um volume conhecido (Fig. 9).

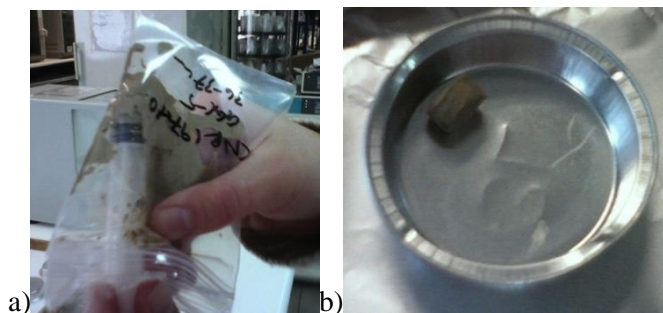


Fig. 9 – Colheita da amostra para análise química.

Em seguida a cápsula é colocada na estufa a 40°C durante 24 horas.

A análise química exige a pulverização da amostra, o que é conseguido através da moagem das amostras utilizando um micromoinho *Pulverisette 7* (Fig. 10). O procedimento de trituração conduz a um aumento de superfície (por redução do tamanho médio das partículas), obtendo-se desta forma uma maior homogeneidade em misturas heterogéneas. As condições da moagem dependem da composição da amostra, do tamanho do grão e da quantidade de amostra a moer.



Fig. 10 – Micromoinho *Pulverisette 7*.

Com o objectivo de queimar a matéria orgânica nas amostras moídas, recorre-se à calcinação e faz-se muflando pequenas quantidades de sedimento moído (cerca de 0,1 g) colocado em cadinhos (Fig. 11).

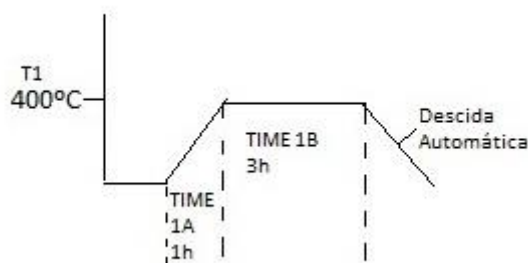


Fig. 11 – Gráfico demonstrativo do procedimento da calcinação.

A análise química elementar tem como objectivo determinar o conteúdo de Carbono (C), Hidrogénio (H) e Azoto (N) em material orgânico homogéneo dissociável abaixo de 1100°C utilizando dois métodos de detecção: condutividade térmica e absorção de infravermelhos. Realiza-se no analisador elementar CHNS-932 da marca LECO Instrumentos (Fig. 12). A combustão a alta temperatura permite a melhor combustão incluindo amostras inorgânicas de difícil análise.

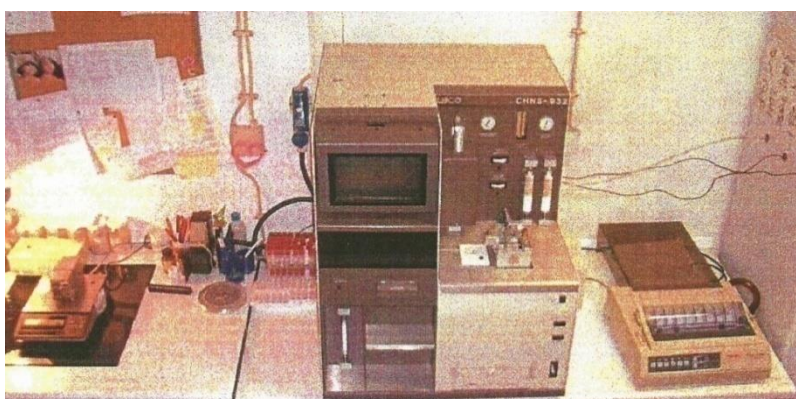


Fig. 12 – Analisador Elementar CHNS-932 da marca LECO Instrumentos.

A percentagem de C_{org} é calculada pelas diferenças das percentagens de peso do C total (amostra não calcinada) e do C inorgânico (amostra calcinada). O mesmo se aplica para o cálculo do N. A relação entre o C_{org} e o N é calculada pela seguinte fórmula:

$$C_{org} / N = C_{org} / N_{total} \quad (5)$$

Também é calculada a percentagem de CaCO_3 , pela seguinte fórmula:

$$\text{CaCO}_3 = C_{inorg} \times 8.332 \quad (6)$$

3.2.6 Análise de Biomarcadores

Para a análise de biomarcadores as amostras são congeladas a uma temperatura de -20°C , para evitar a degradação da matéria orgânica pela actividade microbiana. As amostras só são retiradas do congelador para liofilizar, processo que tem como objectivo a eliminação de água e que tem a duração de cerca de 24 horas (Ver descrição em 3.2.3).

O procedimento analítico inicia-se com a homogeneização da amostra que é feita manualmente com uma espátula de metal ou com um rolo envolvido em papel de alumínio, para depois pesar até 2,5 g de sedimento, e segue-se o método descrito por Rodrigues (2003).

A análise dos compostos é feita por cromatografia gasosa, sendo a identificação dos compostos feita por comparação dos tempos de retenção com o padrão interno e com a amostra padrão. Após ser feita uma correcta identificação dos espectros obtidos em cada amostra, foi feita manualmente a integração da área de todos os picos cromatográficos de interesse para assegurar uma quantificação uniforme. Os valores das áreas de cada pico foram transferidos para uma folha de cálculo mediante o programa informático de conversão de dados para assim calcularmos a concentração de cada composto de interesse com base na área de cada pico de acordo com a fórmula:

$$[\text{Biomarcador}] \text{ ng / g} = \left(\frac{\text{Área Biomarcador}}{\text{Área } C_{36}} \right) \times \left(\frac{\text{ng } C_{36}}{\text{Peso Sedsec}} \right) \quad (7)$$

Sendo, $\text{ng } C_{36}$ a concentração do padrão Hexatriacontano e Peso Sed sec o peso da amostra seca analisada.

Neste trabalho foram identificados e quantificados os n-alcenos (C_{13} a C_{33}) e os n-álcoois (19-OH a 30-OH), biomarcadores de origem terrestre, e as alquenonas (C_{37}), biomarcadores de origem marinha. É a partir da concentração das alquenonas que se determina a temperatura de superfície do mar (SST), utilizando a equação (4).

3.2.7 Cronologia

O modelo de idades do core de Sines (SHAK-03-6K) foi definido, com base nos dados da razão elementar Ca/Ti determinada para esta sequência e por correlação com a mesma razão elementar no site U1385 da Exp 339 cujo modelo de idades está definido. Para a sequência dos Açores, o modelo foi construído a partir de uma sequência de idades AMS ^{14}C após correcção para o efeito reservatório do oceano na margem ibérica (400 anos) e calibradas em idades BP (*Before Present*) com o programa "Calib Radiocarbon Calibration".

O ^{14}C é formado nos níveis superiores da atmosfera, pela interação dos átomos de azoto com os neutrões produzidos por raios cósmicos, estando maioritariamente na forma de dióxido de carbono. As plantas recebem o ^{14}C por fotossíntese, transmitindo o mesmo directa ou indirectamente para todos os seres vivos da cadeia alimentar. Quando o

organismo morre deixa de receber ^{14}C . Como é radioactivo vai decaindo, reduzindo a proporção entre ^{14}C e ^{12}C (isótopo estável de carbono) de acordo com a lei de decaimento exponencial: $R = A \exp(-T/8033)$, sendo R a proporção entre ^{14}C e ^{12}C na amostra, A a proporção original e T o tempo que passou desde a morte do organismo. Medindo a proporção R pode-se calcular a idade da amostra: $T = -8033 \ln(R/A)$.

A idade ^{14}C foi determinada na espécie de foraminífero planctónico *G. bulloides*.

A relação Idade (ka BP) vs Profundidade (cm) para os níveis datados de ambos os cores estudados é apresentada na Fig. 13. As amostras estudadas neste trabalho representam um intervalo temporal entre 6 e 21 ka BP (Tabela 2).

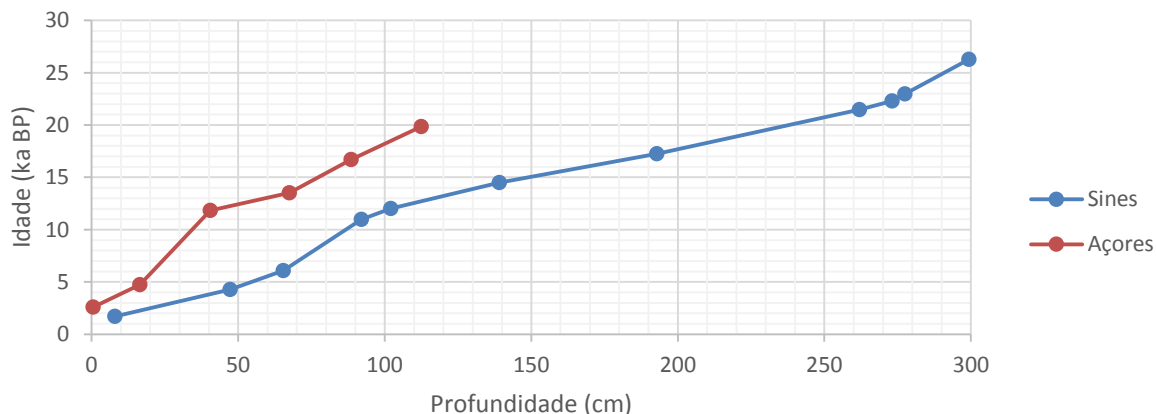


Fig. 13 – Gráfico com relação Idade (ka BP) vs Profundidade (cm) para os níveis datados ao longo dos cores de Sines e Açores.

Tabela 2 – Tabela com idades ka BP calculadas para os níveis estudados dos cores de Sines e Açores.

Profundidade da amostra (cm) Sines	Idade ka BP Sines	Profundidade da amostra (cm) Açores	Idade ka BP Açores
65	6.04	24	6.96
75	7.85	28	8.14
85	9.69	36	10.50
90	10.61	40	11.68
95	11.29	44	12.05
100	11.80	56	12.80
105	12.22	64	13.30
110	12.55	72	14.20
130	13.90	80	15.41
150	15.06	96	17.68
170	16.08	100	18.20
190	17.10	104	18.73
210	18.29	108	19.26
220	18.91	116	20.31
230	19.52	124	21.36
240	20.13		
250	20.74		

4. Resultados

4.1 Determinação da abundância de diatomáceas

A abundância de diatomáceas fornece informações relativas à produtividade no oceano, permitindo realizar reconstruções paleoceanográficas a diferentes escalas temporais.

A Fig. 14 mostra que a abundância em diatomáceas era muito baixa em todo o intervalo estudado em Sines, sendo que em grande parte das profundidades estudadas as mesmas eram inexistentes. Entre as profundidades 170 e 190 cm a abundância determinada é de 1%, tal como a 240 cm.

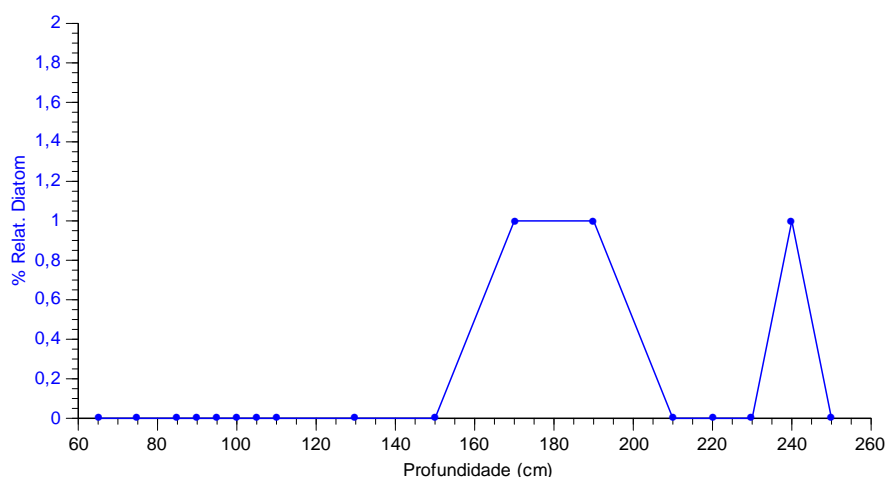


Fig. 14 – Distribuição em profundidade da abundância de diatomáceas no core de Sines.

Tabela 3 – Tabela referente à abundância de diatomáceas no core de Sines.

Profundidade (cm)	% Abundância diatomáceas
65	0
75	0
85	0
90	0
95	0
100	0
105	0
110	0
130	0
150	0
170	1
190	1
210	0
220	0
230	0
240	1
250	0

Nos Açores (Fig. 15) observa-se uma variação pronunciada na abundância de diatomáceas com um máximo entre 96 e 124 cm, a que se segue um mínimo (64 a 80 cm) e um novo aumento entre 40 e 56 cm. Os valores mínimos ocorrem a partir de 24 cm, mantendo-se constantes até 36 cm.

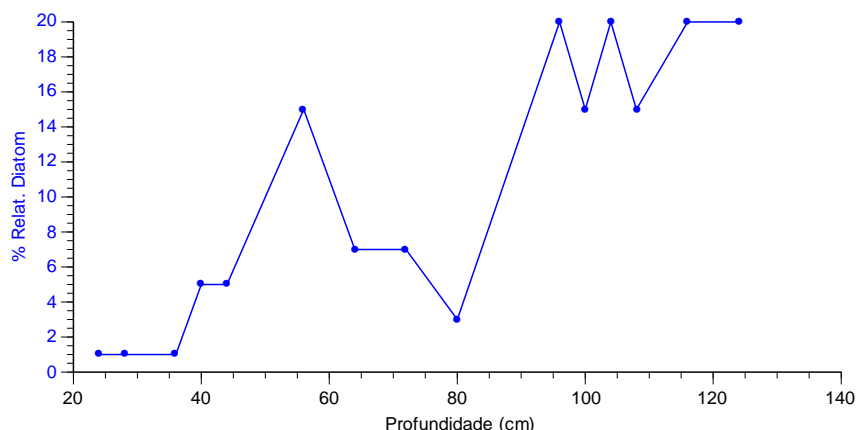


Fig. 15 – Distribuição em profundidade da abundância de diatomáceas no core dos Açores.

Tabela 4 – Tabela referente à abundância de diatomáceas no core dos Açores.

Profundidade da amostra (cm)	% Abundância diatomáceas
24	1
28	1
36	1
40	5
44	5
56	15
64	7
72	7
80	3
96	20
100	15
104	20
108	15
116	20
124	20

4.2 Quantificação e Identificação de Foraminíferos

Calcularam-se as quantidades de foraminíferos, planctónicos e bênticos, por grama de sedimento, e com vista a identificar o evento H1, foi determinada a abundância relativa de *N. pachyderma* sinistral para ambos os cores.

Os resultados apresentados na Tabela 5 e na Fig. 16a revelam percentagens muito baixas de *N. pachyderma* sinistral em Sines, oscilando entre os 0% e os 6% no intervalo 65-130 cm. Entre 150 - 190 cm a mesma oscila entre os 14% e os 30%, sendo na profundidade 170 cm aquela em que se encontra a abundância máxima. A partir de 210 cm a percentagem é quase nula. Verifica-se ainda que as profundidades em que se encontraram maiores percentagens de *N. pachyderma* sinistral são também aquelas em que se encontraram mais grãos minerais de forma irregular (ice-rafted debris - IRDs) (Tabela 5).

Relativamente ao número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento (Fig. 16b) em Sines, estes oscilam entre 15.302 e 65.546 indivíduos/g, e observa-se uma diminuição no número para os níveis abaixo dos 240 cm e acima de 100 cm. No caso do número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento (Fig. 16c) pode-se dizer que este é muito menor que o de foraminíferos planctónicos, oscilando entre 100 e 1.486 indivíduos/g, com um máximo entre 170 e 210 cm.

Comparação entre as condições paleoceanográficas entre Sines e Açores durante o Holocénico Ótimo e o Último Máximo Glaciar

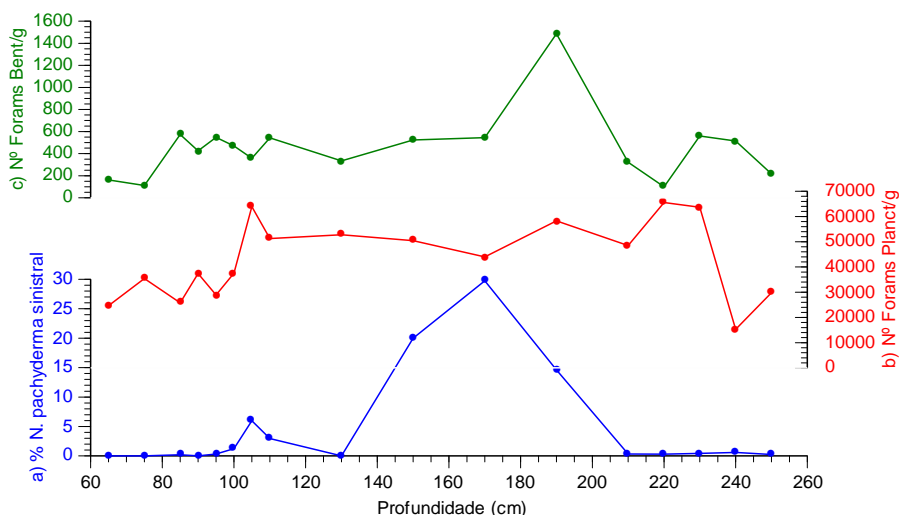


Fig. 16 – Distribuição em profundidade de: a) percentagem de *N. pachyderma* sinistral, b) número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento e c) número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, no core de Sines.

Tabela 5 – Tabela referente às contagens de foraminíferos feitas para o core de Sines.

Profundidade (cm)	IRDs	% <i>N. pachyderma</i> sinistral	Nº Foraminíferos Planctónicos	Nº Foraminíferos Bênticos
65	0	0.00	24671	162
75	2	0.00	35427	111
85	6	0.19	25782	574
90	0	0.00	37369	425
95	6	0.32	28933	548
100	8	1.25	37521	469
105	3	5.97	63905	358
110	2	2.97	51270	543
130	8	0.00	52756	335
150	17	20.00	50450	524
170	41	29.75	44000	545
190	44	14.62	58243	1486
210	10	0.33	48475	322
220	29	0.31	65546	100
230	24	0.44	63664	560
240	19	0.61	15302	515
250	21	0.24	29815	217

A Fig. 17 representa a variabilidade de *N. pachyderma* sinistral, e dos números de foraminíferos planctónicos e bênticos por grama de sedimento, às profundidades seleccionadas no core dos Açores. A percentagem desta espécie no total de foraminíferos planctónicos é muito baixa, sempre inferior a 2%. A 64 cm encontra-se a percentagem máxima (1,71%) de *N. pachyderma* sinistral. As contagens relativas a este core encontram-se especificadas na Tabela 6. Pode-se observar que tal como as percentagens de *N. pachyderma* sinistral são baixas, também o número de IRDs encontrados em cada amostra é baixo.

O número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento oscila entre 32.172 e 59.487 indivíduos/g, mostrando uma grande variabilidade ao longo do tempo. Em relação ao número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, verifica-se que oscila entre 0 e 523 indivíduos/g. Verifica-se que o mínimo de foraminíferos bênticos corresponde a uma subida de foraminíferos planctónicos a 72 cm.

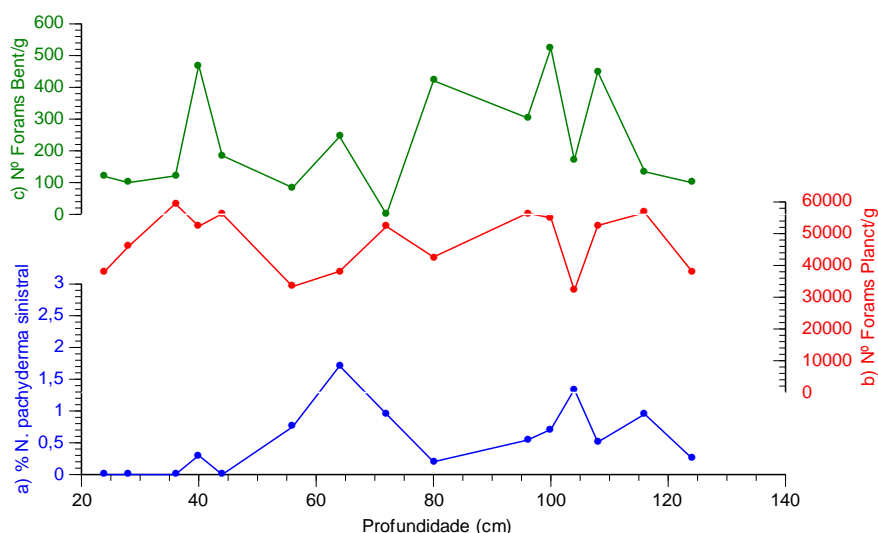


Fig. 17 – Distribuição em profundidade de: a) percentagem de *N. pachyderma sinistral*, b) número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento e c) número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, no core dos Açores.

Tabela 6 – Tabela referente às contagens de foraminíferos feitas para o core dos Açores.

Profundidade da amostra (cm)	IRDs	% <i>N. pachyderma sinistral</i>	Nº Foraminíferos Planctónicos	Nº Foraminíferos Bênticos
24	0	0.00	38200	119
28	2	0.00	45928	100
36	0	0.00	59487	121
40	0	0.30	52344	469
44	0	0.00	56296	185
56	0	0.75	33340	84
64	2	1.71	38161	245
72	1	0.95	52282	0
80	0	0.20	42633	421
96	0	0.54	56453	304
100	3	0.71	55033	523
104	7	1.34	32172	172
108	2	0.51	52586	449
116	3	0.95	56644	134
124	4	0.26	38224	100

4.3 Análise Granulométrica

Na Fig. 18 mostra-se o valor médio do grão (em μm) e as percentagens de silte, argila e areia ao longo do core de Sines. O tamanho médio do grão oscila entre 7,59 e 11,16 μm , a percentagem de argila varia de 38,17 a 48,51%, a percentagem de silte oscila entre 50,77 e 60,79% e a percentagem de areia oscila entre 0 e 1,2%. Pode-se então dizer que as amostras são compostas maioritariamente por silte, alguma argila e por uma percentagem quase nula de areia (Fig. 19), o que de acordo com o esquema de classificação Wentworth (1922) as classifica como silte argiloso.

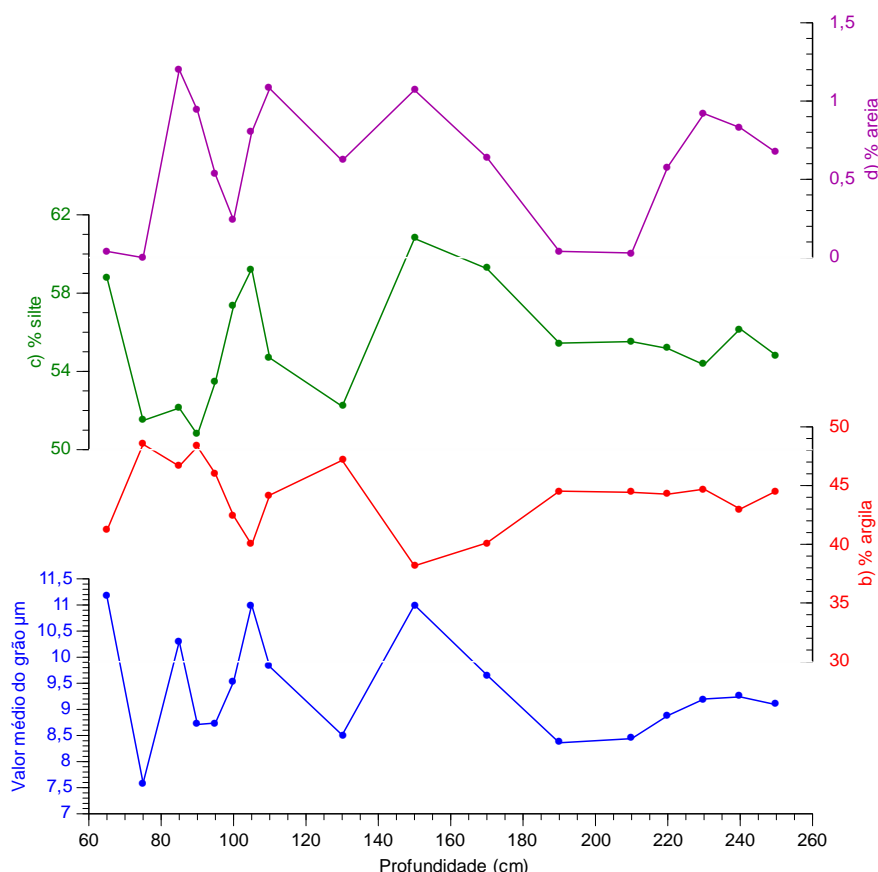


Fig. 18 – Gráfico referente à caracterização granulométrica do sedimento do core de Sines: a) valor médio do grão em μm , b) percentagem de argila, c) percentagem de silte e d) percentagem de areia.

Tabela 7 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise granulométrica para o core de Sines.

Profundidade (cm)	Valor médio do grão μm	% argila	% silte	% areia
65	11.16	41.18	58.79	0.04
75	7.59	48.51	51.49	0.00
85	10.30	46.65	52.13	1.20
90	8.71	48.31	50.77	0.94
95	8.74	46.00	53.47	0.53
100	9.53	42.43	57.34	0.24
105	11.00	39.96	59.24	0.80
110	9.82	44.18	54.69	1.08
130	8.51	47.15	52.22	0.62
150	11.00	38.17	60.79	1.07
170	9.66	40.11	59.25	0.64
190	8.36	44.52	55.44	0.04
210	8.44	44.43	55.52	0.03
220	8.88	44.27	55.17	0.58
230	9.20	44.69	54.34	0.92
240	9.24	43.00	56.17	0.83
250	9.09	44.53	54.81	0.67

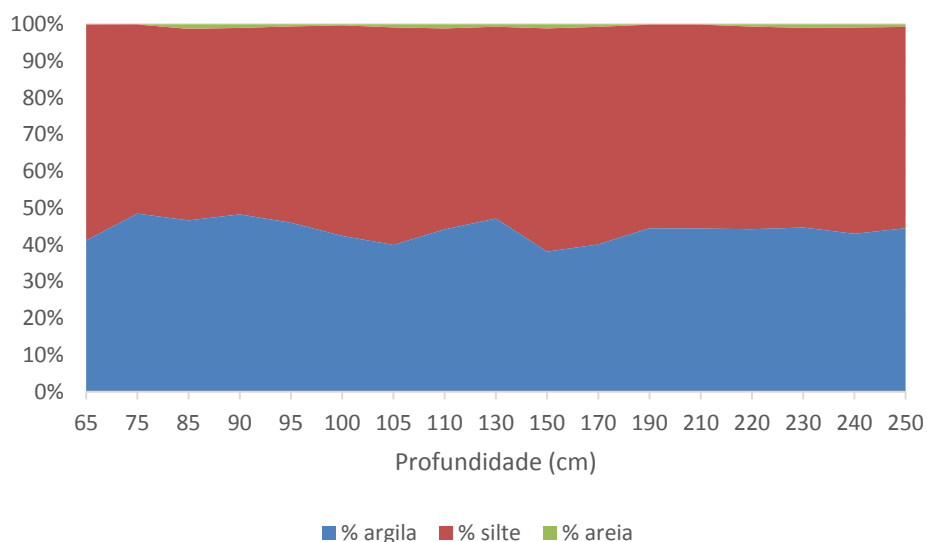


Fig. 19 - Composição granulométrica total de cada amostra do core de Sines.

4.4 Análise Química Elementar

A Fig. 20 apresenta os resultados da análise química elementar para o core de Sines. As percentagens de peso de Carbono Orgânico (C_{org}) e de Azoto orgânico (N_{org}) são baixas, oscilando entre 0,94% e 1,76% e entre 0,05% e 0,07%, respectivamente, enquanto que o $CaCO_3$ oscila entre 12,56% e 33,65%. A relação entre o C_{org} e o N total (C_{org}/N) oscila entre 10,69 e 20,10. Entre 220 e 250 cm verifica-se um decréscimo nos valores de C_{org} , N_{org} e C_{org}/N , a que corresponde um aumento nos valores de $CaCO_3$.

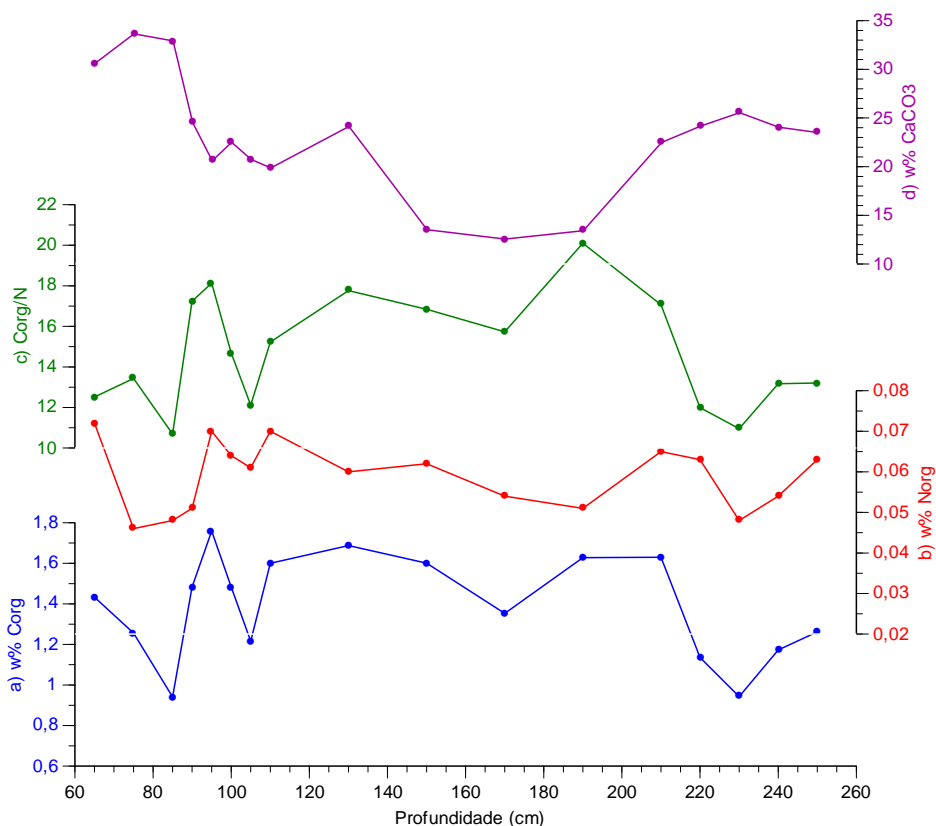


Fig. 20 – Distribuição em profundidade ao longo do core de Sines das percentagens de peso em: a) C_{org} , b) N_{org} , c) C_{org}/N e d) $CaCO_3$.

Tabela 8 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise química elementar para o core de Sines.

Profundidade (cm)	w% C_{org}	w% N_{org}	C_{org}/N	w% $CaCO_3$
65	1.433	0.072	12.52	30.61
75	1.256	0.046	13.43	33.65
85	0.941	0.048	10.693	32.916
90	1.483	0.051	17.238	24.538
95	1.759	0.070	18.134	20.613
100	1.483	0.064	14.683	22.505
105	1.216	0.061	12.115	20.747
110	1.600	0.070	15.233	19.868
130	1.688	0.060	17.763	24.138
150	1.601	0.062	16.847	13.519
170	1.353	0.054	15.727	12.556
190	1.628	0.051	20.099	13.423
210	1.630	0.065	17.068	22.488
220	1.136	0.063	11.996	24.154
230	0.943	0.048	10.959	25.550
240	1.173	0.054	13.174	24.054
250	1.262	0.063	13.209	23.500

Na Fig. 21 apresentam-se os resultados obtidos na análise química elementar para o core dos Açores. Pode-se observar que as percentagens de peso de C_{org} e N_{org} variam entre 0,15 e 0,56% e entre 0,02 e 0,05%, respectivamente, e a relação C_{org}/N oscila entre 4,71 e 14,60.

A percentagem de peso de CaCO_3 oscila entre 71,26 e 79,27%, sendo entre as profundidades 96 e 108 cm que se verifica um mínimo percentual, a que corresponde uma subida na relação $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}$.

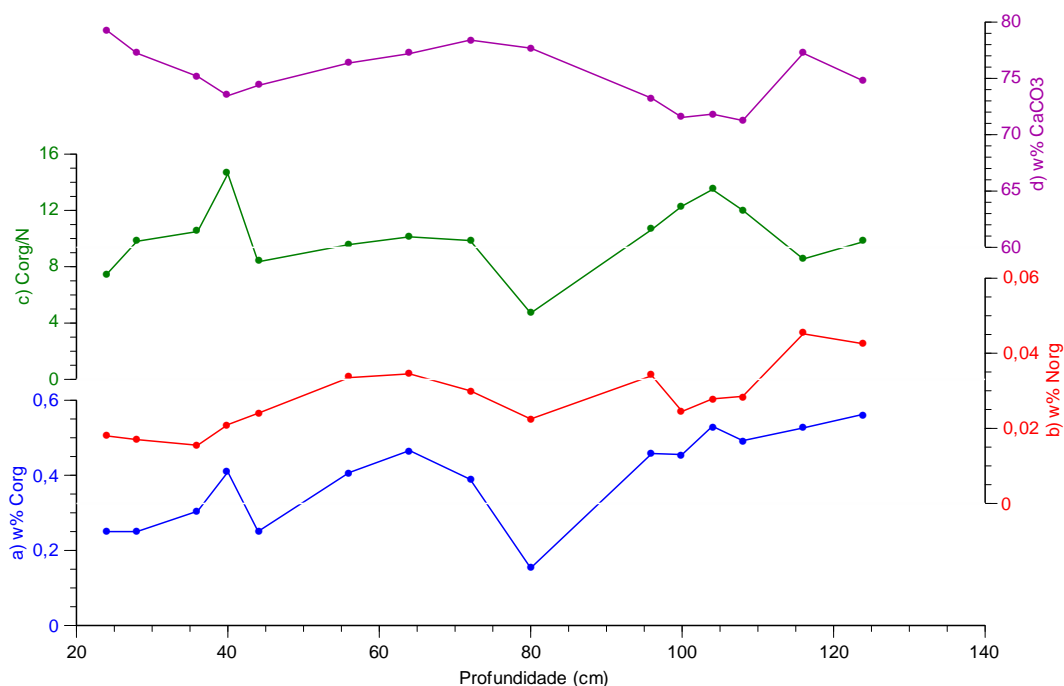


Fig. 21 – Distribuição em profundidade ao longo do core dos Açores das percentagens de peso em: a) C_{org} , b) N_{org} , c) $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}$ e d) CaCO_3 .

Tabela 9 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise química elementar para o core dos Açores.

Profundidade da amostra (cm)	w% C_{org}	w% N_{org}	$\text{C}_{\text{org}}/\text{N}$	w% CaCO_3
24	0.250	0.018	7.46	79.27
28	0.250	0.017	9.80	77.23
36	0.304	0.016	10.50	75.18
40	0.409	0.021	14.60	73.45
44	0.250	0.024	8.35	74.36
56	0.407	0.034	9.58	76.37
64	0.466	0.035	10.13	77.20
72	0.390	0.030	9.86	78.40
80	0.153	0.023	4.71	77.69
96	0.458	0.034	10.65	73.24
100	0.455	0.025	12.31	71.54
104	0.531	0.028	13.49	71.83
108	0.493	0.029	12.01	71.26
116	0.526	0.045	8.56	77.23
124	0.563	0.043	9.79	74.75

4.5 Determinação de Biomarcadores

Na Fig. 22 apresentam-se os resultados obtidos na análise de biomarcadores para o core de Sines e pode observar-se que entre as profundidades 65 e 75 cm verificam-se os valores mais baixos de alquenonas ($[\text{37alq}]$) e de n-alcenos ($[\text{n-alk}]$) e de n-álcoois ($[\text{n-OH}]$),

enquanto que se observam valores máximos para a SST e o índice de insaturação (U_{37}^k). Também se observa que entre as profundidades 150 e 190 cm existe um outro mínimo em [37alq], enquanto que para [n-alk] [n-OH] estas são as profundidades em que se encontram valores mais elevados. Relativamente a U_{37}^k e à SST, os valores mais baixos correspondem aos valores mais baixos de [37alq] e aos valores mais elevados de [n-alk] e de [n-OH], ou seja, o input terrestre é maior em períodos frios.

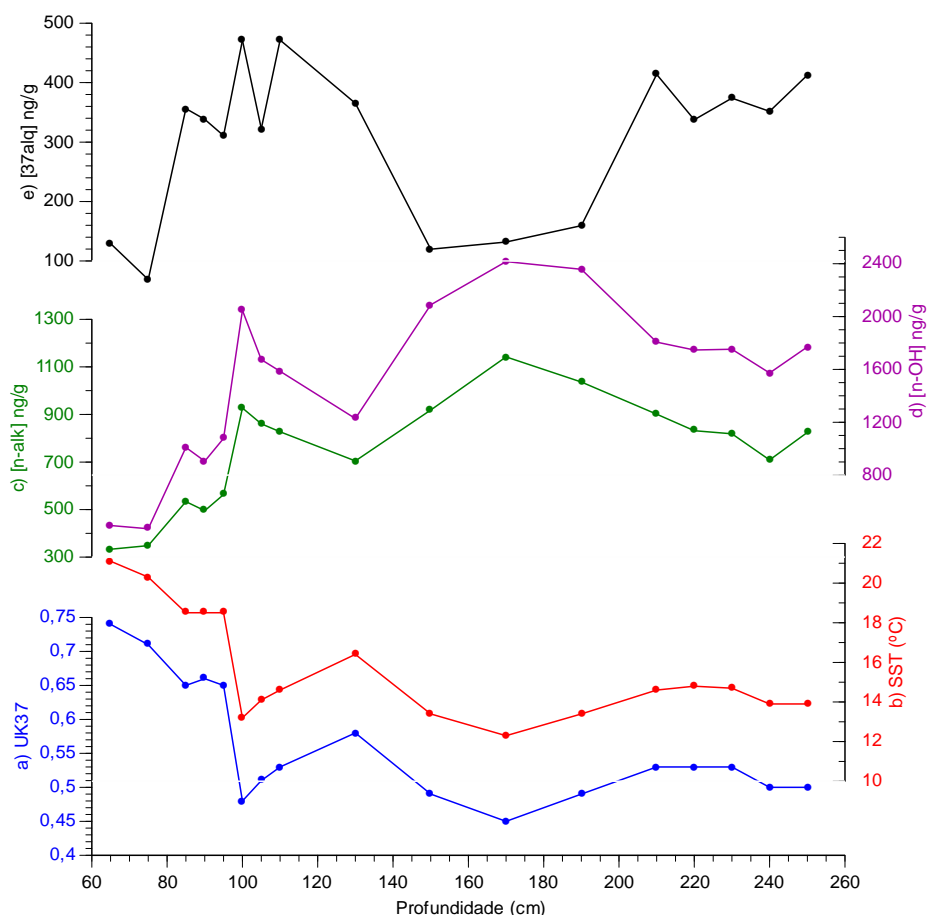


Fig. 22 – Distribuição em profundidade ao longo do core de Sines de: a) U_{37}^k , b) SST ($^{\circ}\text{C}$), c) [n-alk] ng/g, d) [n-OH] ng/g e e) [37alq] ng/g.

Tabela 10 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise de biomarcadores para o core de Sines.

Profundidade (cm)	UK37	SST ($^{\circ}\text{C}$)	[n-alk] ng/g	[n-OH] ng/g	[37alq] ng/g
65	0.74	21.1	333.549	418.500	129.334
75	0.71	20.3	348.776	394.673	68.726
85	0.65	18.5	533.877	1009.998	356.184
90	0.66	18.5	495.053	905.806	338.216
95	0.65	18.5	563.285	1077.399	310.766
100	0.48	13.2	926.750	2047.039	471.009
105	0.51	14.1	860.676	1673.711	322.588
110	0.53	14.6	827.195	1585.707	471.423
130	0.58	16.4	704.753	1227.725	365.235
150	0.49	13.4	918.518	2088.499	119.765
170	0.45	12.3	1141.963	2415.879	131.743

Comparação entre as condições paleoceanográficas entre Sines e Açores durante o Holocénico Ótimo e o Último Máximo Glaciar

190	0.49	13.4	1036.510	2357.431	159.365
210	0.53	14.6	901.249	1806.181	413.818
220	0.53	14.8	832.054	1747.073	337.514
230	0.53	14.7	818.793	1752.856	373.889
240	0.50	13.9	708.701	1572.436	351.561
250	0.50	13.9	824.258	1770.580	412.655

Na Fig. 23 apresentam-se os resultados obtidos na análise de biomarcadores para o core dos Açores e verifica-se que os valores mais baixos de [37alq] se situam entre as profundidades 64 e 104 cm enquanto que os valores mais elevados se encontram entre os 108 e os 124 cm. Para os [n-alk] e [n-OH], os valores mais elevados estão entre 96 e 124 cm enquanto que os valores mais baixos correspondem a 44 a 96 cm. Para o índice (U_{37}^k) e a SST os valores mais elevados situam-se entre 44 e 100 cm enquanto que os valores mais baixos correspondem ao intervalo entre 104 e 124 cm. Observa-se que a cerca de 72 cm existe um pico máximo de SST a que correspondem mínimos dos biomarcadores de origem terrestre e também uma diminuição na [37alq], enquanto que a cerca de 100 cm se observa outro máximo relativo de SST a que corresponde um mínimo de [37alq] mas um aumento nos biomarcadores de origem terrestre.

Entre as profundidades 24 e 56 cm (com excepção do nível dos 40 cm) não foi possível realizar a análise devido à reduzida (<1g) quantidade de amostra.

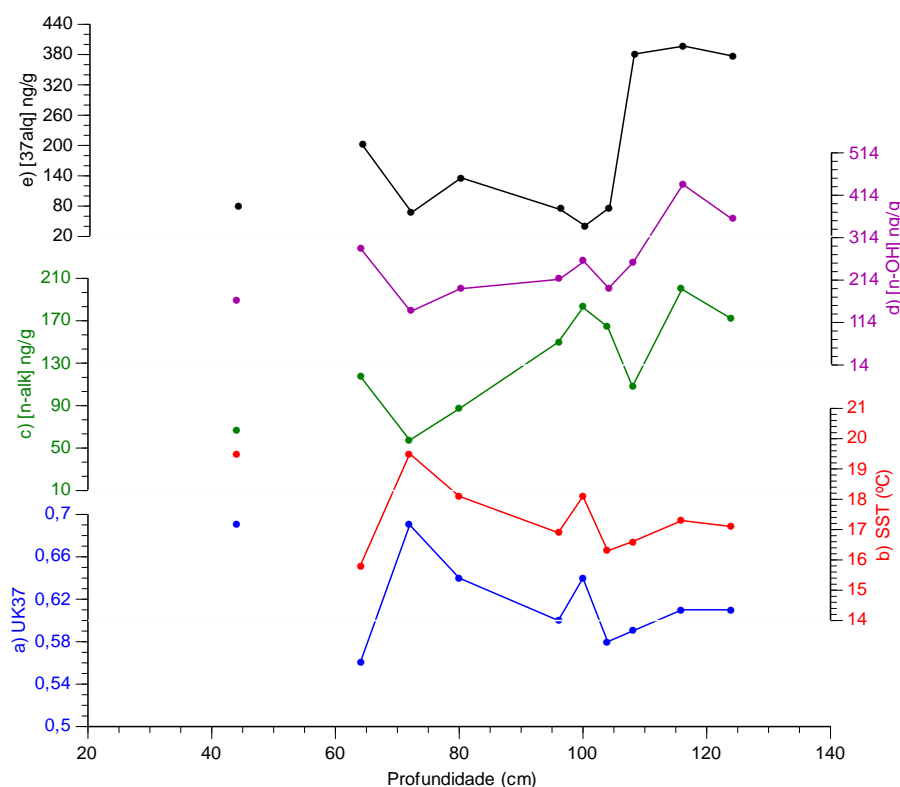


Fig. 23 – Distribuição em profundidade ao longo do core dos Açores de: a) U_{37}^k , b) SST (°C), c) [n-alk] ng/g, d) [n-OH] ng/g e e) [37alq] ng/g.

Tabela 11 – Tabela referente aos resultados obtidos da análise de biomarcadores para o core dos Açores.

Profundidade da amostra (cm)	UK37	SST (°C)	[n-alk] ng/g	[n-OH] ng/g	[37alq] ng/g
24					
28					
36					
40					
44	0.69	19.5	67.365	164.199	79.137
56					
64	0.56	15.8	117.812	287.014	201.516
72	0.69	19.5	57.426	139.973	67.461
80	0.64	18.1	86.999	193.545	135.879
96	0.60	16.9	149.854	215.695	73.401
100	0.64	18.1	182.467	257.856	41.240
104	0.58	16.3	164.207	195.007	77.130
108	0.59	16.6	107.951	256.545	381.031
116	0.61	17.3	199.648	439.344	396.954
124	0.61	17.1	171.862	357.163	376.877

5. Discussão

Este trabalho tinha como objectivo comparar as condições oceanográficas em duas regiões, Sines e Açores, durante os dois eventos climáticos extremos mais recentes, o Último Máximo Glaciar (UMG) e o Ótimo Holocénico (OH). O UMG, que ocorreu entre 19-23 ka BP, caracterizou-se pelo máximo de extensão global dos glaciares, e o OH, representa o intervalo de temperaturas mais elevadas ocorridas no início (9-7 ka BP) do interglaciar actual, o Holocénico. Neste estudo, usaram-se indicadores para a caracterização geral dos sedimentos recolhidos nas áreas de estudo, em termos de produtividade oceânica, input terrígeno e temperatura. Estes foram, a determinação da abundância relativa de diatomáceas, a análise do conteúdo de elementos de origem orgânica (C e N) e de CaCO_3 , a determinação de biomarcadores, de origem marinha (alquenonas) e continental (n-alcanos e n-álcoois), análise granulométrica, e contagem de foraminíferos sub-polares (*N. pachyderma* sinistral).

Em relação aos resultados obtidos para Sines, analisando o período do OH, verifica-se que tal como esperado, os valores de SST são da ordem de 20°C, os mais altos observados em todo o intervalo estudado, e também se observa uma rápida subida da temperatura (Fig. 24b). No que respeita às condições de produtividade oceânica observa-se que para além do baixo número de foraminíferos planctónicos (Fig. 24i) e a inexistência de diatomáceas (Fig. 24k), também o número de foraminíferos benthicos por grama de sedimento (Fig. 24j) é baixo. Em relação à percentagem de peso em C_{org} (Fig. 24h) os valores tendem a aumentar da base para o topo deste período. Relativamente aos indicadores do input terrestre observa-se que os [n-alk] têm os seus valores mais baixos durante este período (Fig. 24f). Estes resultados indicam baixa produtividade no oceano superficial e condições secas na região continental.

No UMG a SST apresenta valores amenos, entre 14 e 16°C. No que respeita aos proxies de produtividade primária, a percentagem relativa de diatomáceas bem como o número de foraminíferos planctónicos e benthicos por grama de sedimento mostram valores mais elevados durante o UMG do que no OH, sugerindo portanto um nível mais elevado de produtividade na região durante este período. Em relação aos resultados relativos ao input

terrestre os valores de [n-alk] são baixos e praticamente constantes mas ainda assim superiores aos encontrados no OH, o que pode ser indicativo de condições um pouco mais húmidas no continente.

Nesta sequência sedimentar de Sines, o impacto do evento H1 está bem marcado pelas elevadas percentagens de *N. pachyderma* sinistral, os valores elevados de IRD e os mínimos de SST. Este evento corresponde a elevadas descargas de gelo para o Oceano Atlântico que causou perturbações na circulação oceânica e atmosférica, sendo este evento considerado o mais frio dos últimos 21 ka.

Os nossos resultados apontam para um elevado input terrestre, [n-alk], e possivelmente condições mais favoráveis a precipitação no continente. Por outro lado, os valores mais elevados na percentagem relativa de diatomáceas e no número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento indicam a existência de níveis de produtividade similares aos observados durante o UMG.

Comparação entre as condições paleoceanográficas entre Sines e Açores durante o Holocénico Ótimo e o Último Máximo Glaciar

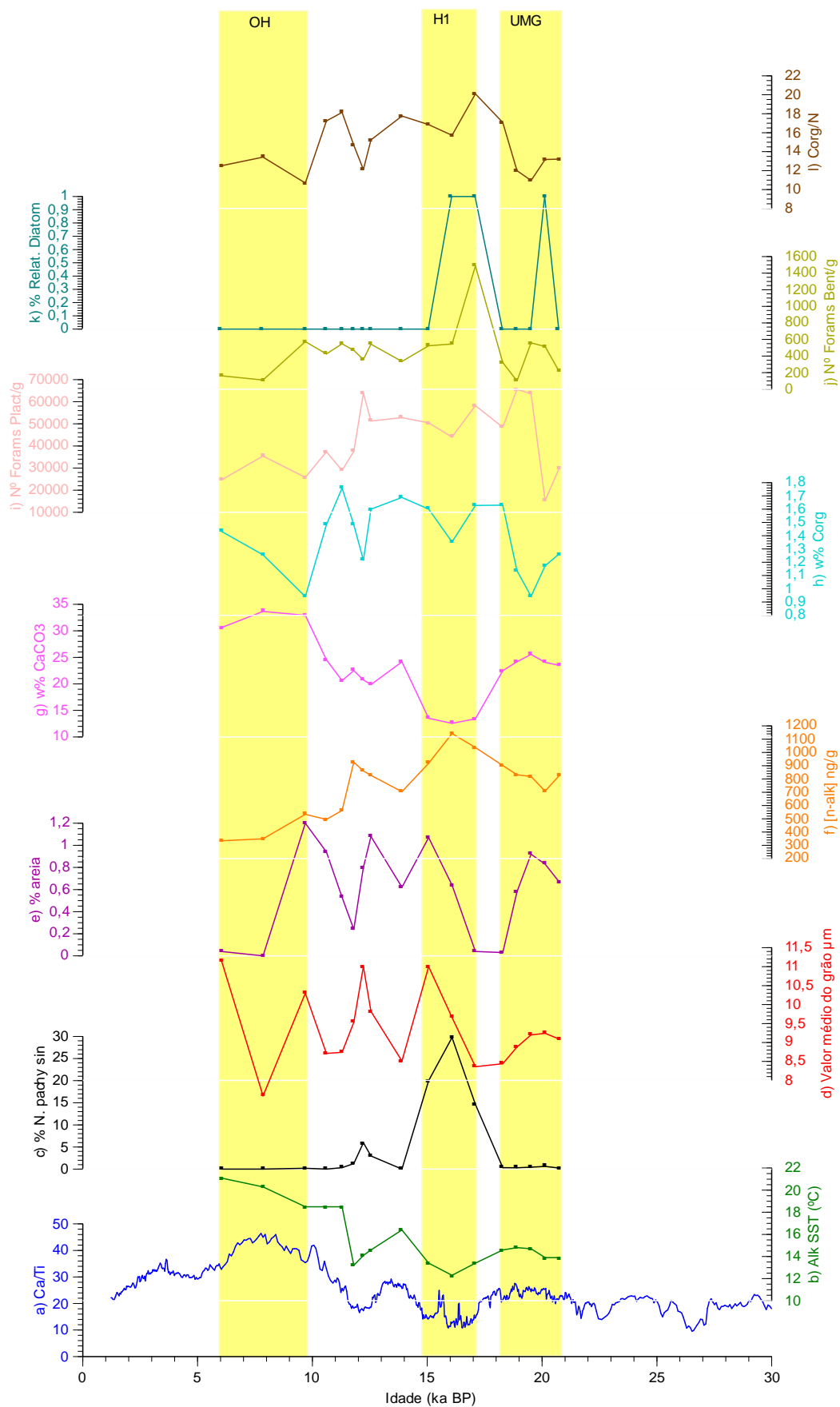


Fig. 24 – Distribuição temporal de: a) Ca/Ti, b) SST em °C, c) percentagem em *N. pachyderma* sinistral, d) valor médio do grão em µm, e) percentagem em areia, f) concentração de n-alcanos em

ng/g, g) percentagem de peso em CaCO_3 , h) percentagem de peso em C_{org} , i) nº de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento, j) nº de foraminíferos benthicos por grama de sedimento, k) percentagem relativa de diatomáceas, l) relação entre C_{org} e N_{total} , ao longo do core de Sines.

No registo dos Açores e apesar de não ter sido possível determinar o valor da SST, o OH está bem marcado pelo registo isotópico (Fig. 25a). A não existência de diatomáceas (Fig. 25i) e o baixo conteúdo em foraminíferos benthicos (Fig. 25h) revelam uma produtividade primária baixa, o que é corroborado pela diminuição do número de foraminíferos planctónicos (Fig. 25g).

Durante o período mais frio, UMG, a SST mantém-se constante, a cerca de 17°C (Fig. 25b), a percentagem relativa de diatomáceas é elevada (~20%) bem como o número de foraminíferos planctónicos por grama (60.000 indivíduos/g), e ainda que o número de foraminíferos benthicos por grama de sedimento seja baixo, a percentagem de peso (w%) em C_{org} (Fig. 25f) apresenta também os valores mais elevados (0,5 e 0,6 w%), sugerindo condições de maior produtividade relativamente ao observado no OH.

Comparação entre as condições paleoceanográficas entre Sines e Açores durante o Holocénico Ótimo e o Último Máximo Glaciar

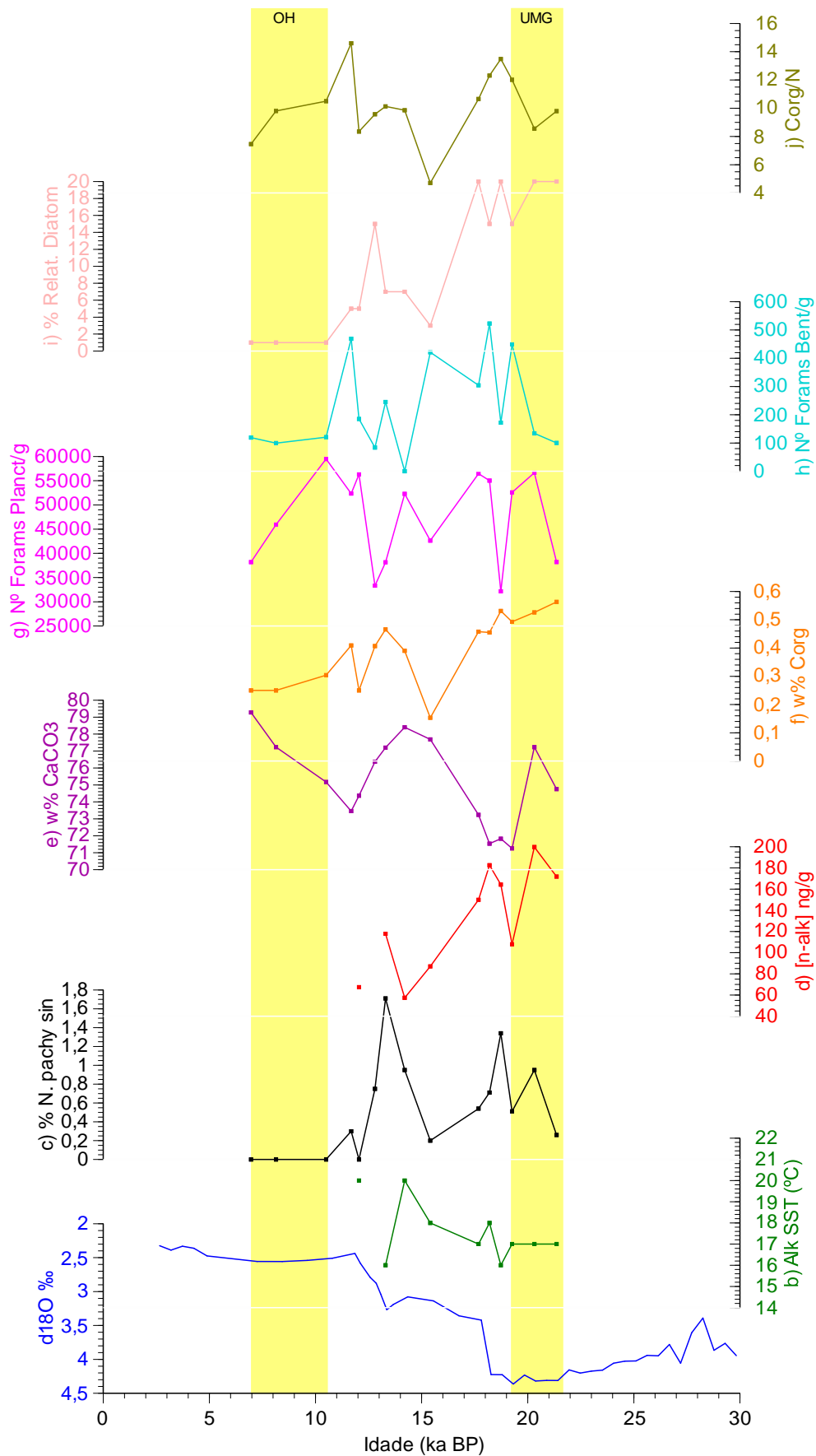


Fig. 25 – Distribuição temporal de: a) $\delta^{18}\text{O}$ em ‰, b) SST em °C, c) percentagem em *N. pachyderma* sinistral, d) concentração de n-alcanos em ng/g, e) percentagem de peso em CaCO_3 , f) percentagem de peso em C_{org}, g) nº de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento, h) nº de foraminíferos bênticos por grama de sedimento, i) percentagem relativa de diatomáceas e j) relação entre C_{org} e N_{total}, ao longo do core dos Açores.

Relativamente aos resultados obtidos para os proxies de temperatura (SST alk e percentagem de *N. pachyderma* sinistral), pode-se observar que a SST é maior nos Açores do que em Sines, e comparando entre os dois intervalos temporais de clima extremo, UMG e OH, observa-se que no OH a SST é maior do que no UMG, sendo que no UMG obtiveram-se temperaturas amenas (Fig. 26a). Para a percentagem de *N. pachyderma* sinistral (Fig. 26b), observa-se que para o OH obtiveram-se percentagens nulas para ambos os locais e no UMG, percentagens quase nulas também em ambos os locais. É possível observar a cerca de 16 ka BP, em Sines, um aumento na percentagem de *N. pachyderma* sinistral (~30%) e uma diminuição na SST (~12°C), que corresponde ao evento H1, em que em estudos anteriores (Salgueiro, 2006, Rodrigues *et al*, 2010, Abreu *et al*, 2003) se concluiu que este foi o evento mais frio dos últimos 21 ka.

No caso dos proxies de produtividade (relação C/N, abundância em diatomáceas, número de foraminíferos bênticos e planctónicos por grama de sedimento, percentagem de peso em C_{org} e CaCO_3) nota-se que a abundância em diatomáceas (Fig. 26h) como o número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento (Fig. 26f) e a percentagem de peso em CaCO_3 (Fig. 26d) são superiores nos Açores, enquanto que a relação C/N (Fig. 26i), o número de foraminíferos bênticos por grama de sedimento (Fig. 26g) e a percentagem de peso em C_{org} (Fig. 26e) são maiores em Sines. Isto indica que a produtividade no oceano superficial é maior nos Açores, mas existe uma maior quantidade de produtividade exportada para o fundo em Sines.

Comparando os eventos climáticos extremos em estudo, OH e UMG nas duas áreas, observa-se que as águas eram mais produtivas no UMG em ambos os locais. O aumento em oceano aberto (Açores) pode ser atribuído a um maior aporte de nutrientes através de icebergs (Schwab *et al*, 2012). Na região de Sines implica uma maior intensidade ou persistência das condições de upwelling costeiro, confirmando os resultados de Abrantes *et al* (2001).

Uma maior concentração de n-alcanos (Fig. 26c), o indicador de input terrígeno, indica uma maior contribuição terrestre em Sines, facilmente explicável pela sua proximidade ao continente. O facto de se observar um aumento associado ao UMG mostra que este terá sido um período mais húmido que o OH.

Comparação entre as condições paleoceanográficas entre Sines e Açores durante o Holocénico Ótimo e o Último Máximo Glaciar

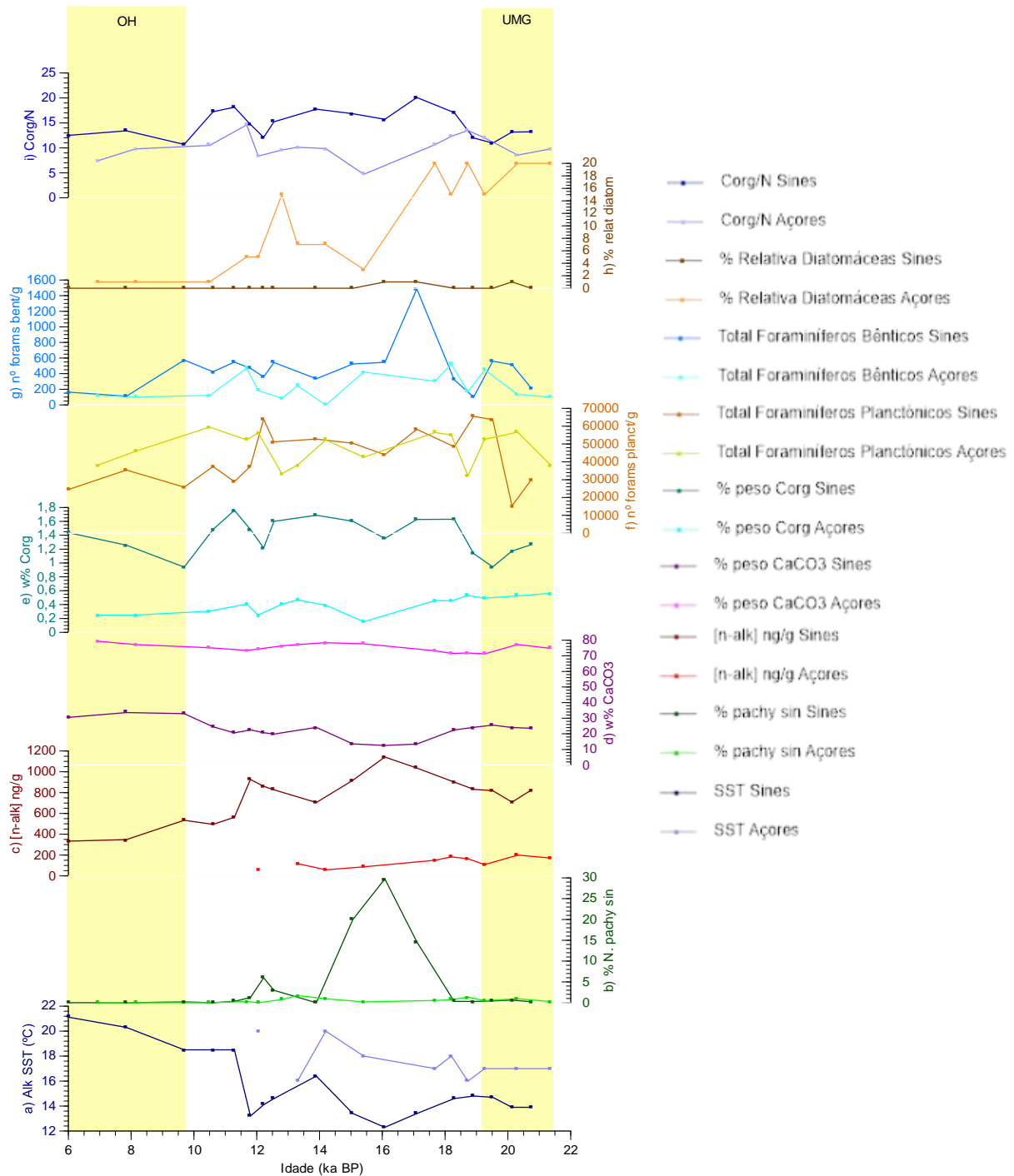


Fig. 26 – Comparação entre a distribuição temporal de: a) temperatura de superfície do mar em °C, b) percentagem de *N. pachyderma* sinistral, c) concentração de n-alcanos em ng/g, d) percentagem de peso em CaCO₃, e) percentagem de peso em C_{org}, f) número de foraminíferos planctónicos por grama de sedimento, g) número de foraminíferos benthicos por grama de sedimento, h) percentagem relativa de diatomáceas e i) relação C_{org}/N_{total}, em ambos os cores.

6. Conclusão

Este trabalho tinha como objectivo comparar as condições oceanográficas em duas regiões, Açores e Sines, durante os dois eventos climáticos extremos mais recentes, o Último Máximo Glaciar e o Ótimo Holocénico. Para poder realizar este estudo utilizaram-se sequências de sedimentos marinhos recolhidas nas duas áreas em estudo. Os indicadores utilizados foram a determinação da abundância relativa de microfósseis siliciosos, contagem de foraminíferos sub-polares, análise granulométrica, análise do conteúdo de elementos de origem orgânica e de carbonato de cálcio, e a determinação de compostos orgânicos.

Após análise dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Tanto como a SST como a percentagem de *N. pachyderma* sinistral mostram que as águas dos Açores foram sempre mais quentes que as de Sines. Durante o UMG os valores de SST eram ligeiramente mais baixos em ambos os locais, com temperaturas em Sines mais elevadas do que no resto da margem Portuguesa, mostrando a influência da Corrente dos Açores, transportadora de águas mais quentes para esta zona.
- A produtividade primária é maior durante o UMG em ambos os locais. No entanto ainda que a indicação seja de valores mais elevados nos Açores, o efeito da produção exportada é mais significativo em Sines.
- Os resultados relativos ao input terrígeno indicam o UMG como um período mais húmido que o OH em ambos os locais, no entanto, a maior proximidade de Sines ao continente impede uma comparação relativa.

7. Referências Bibliográficas

- Abrantes, F., Loncaric, N., Moreno, J., Mil-Homens, M. e Pflauman, U. (2001). Paleooceanographic Conditions along the Portuguese Margin during the last 30 ka: A Multiple Proxy Study. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, t. 88, pp. 161-184.
- Abreu, L.d., Shackleton, N.J., Hall, M., Chapman, M. (2003). Millennial-scale oceanic climate variability off the Western Iberian margin during the last two glacial periods. *Marine Geology* 3297: 1-20.
- Bard, E., Rostek, F., Turon, J.L., Gendreau, S. (2000). Hydrological Impact of Heinrich Events in the Subtropical Northeast Atlantic. *Science* 289: 1321-1324
- Brassel, S. C., G. Eglinton, I. T. Marlowe, U. Pflaumann e M. Sarnthein (1986). Molecular stratigraphy: a new tool for climatic assessment. *Nature* 320: 129-133.
- Buchdahl, J. (1999). Global Climate Change Student Guide: A review of contemporary and prehistoric global climate change. Atmosphere, Climate & Environment Information Programme, aric, Manchester Metropolitan University, Chester Street, Manchester.
- Eglinton, G. & Hamilton, R. J. (1967). Leaf epicuticular waxes. *Science* 156: 1322-1335.
- Fiúza, A.F.G. (1983). Upwelling patterns off Portugal. In: Suess, E., Thiede, J. (Eds.), Coastal Upwelling. Its Sediment Record, part A. Plenum Press, New York, 85-97.
- Fiúza, A.F.G. (1984). Hidrologia e dinâmica das águas costeiras de Portugal (Hydrology and dynamics of the Portuguese coastal waters). Ph.D. dissertation, Universidade de Lisboa, 294 pp.
- Fiúza, A.F.G., Hammann, M., Ambar, L., Días del Rio, G., Gonzáles, M., Cabanas, J.M. (1998). Water masses and their circulation off western Iberia during May 1993. *Deep Sea Research I* 45, 1127-1160.
- Gagosian, R. B., E. T. Peltzer e J. T. Merrill (1987). Long-range transport of terrestrially derived lipids in aerosols from the south Pacific. *Nature* 325: 800-803.
- Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269: 676-679.
- Hurrell, J.W., Kushnir, Y., e Visbeck, M. (2001). The North Atlantic Oscillation. *Science* 291: 603-605.
- Kida, S., Price, J.F., Yang, J. (2008). The Upper-Oceanic Response to Overflows: A Mechanism for the Azores Current. *Journal of Physical Oceanography* 38, 880-895.
- Knauss, J.A. (1997). Introduction to Physical Oceanography. Prentice-Hall.

- Martins, M. e Gomes, V. (2004). Foraminíferos da Margem Continental NW Ibérica – Sistemática, Ecologia e Distribuição. Gomes, C. (Ed.), 377 pp.
- Müller, P.J., Kirst, G., Ruhland, G., von Storch, I. e Rosell-Meré, A. (1998). Calibration of the alkenone paleotemperature index UK'37 based on core-pops from the eastern South Atlantic and the global ocean (60°N-60°S). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(10): 1757-1772.
- Peliz, A., Dubert, J., Santos, A.M.P., Oliveira, P.B., Le Cann, B. (2005). Winter upper ocean circulation in the Western Iberian Basin – Fronts, Eddies and Poleward Flows: an overview. *Deep-Sea Research I* 52 621-646.
- Poynter, J. G., Farrimond, P., Robinson, N. e Eglinton, G. (1989). Aeolian-derived higher plant lipids in the marine sedimentary record: Links with palaeoclimate. In: M. Leinen, M. Sarnthein (Eds), *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and past patterns of global atmospheric transport* (Ed. by M. Leinen, M. Sarnthein), pp. 435-462. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Prahl, F. G. E Wakeham, S. G. (1987). Calibration of unsaturation patterns in long-chain ketone compositions for palaeotemperature assessment. *Nature* 330: 367-369.
- Rodrigues, T. (2003). Variações Climáticas e “Input” Terrígeno no Prodelta do Tejo durante os últimos 13,5 ka. Tese de Mestrado, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, p.117 + anexos.
- Rodrigues, T., Grimalt, J.O., Abrantes, F., Naughton, F., Flores, J-A. (2010). The last glacial-interglacial transition (LGIT) in the western mid-latitudes of the North Atlantic: Abrupt sea surface temperature change and sea level implications. *Quaternary Science Reviews* 29: 1853-1862.
- Rühlemann, C., Müller, P.J. e Schneider, R.R. (1999). Organic Carbon and Carbonate as Paleoproductivity Proxies: Examples from High and Low Productivity Areas of the Tropical Atlantic. In: Fischer, G., Wefer, G. (Eds). *Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 315-344.
- Salgueiro, E. (2006). Oceanography and Productivity Conditions on the Iberian Margin: A 150 ky foraminifera record. Ph.D. dissertation. Universidade de Bremen, 168 pp.
- Schiebel, R., Waniek, J., Zeltner, A., Alves, M. (2002). Impact of the Azores Front on the distribution of planktic foraminifers, shelled gastropods, and coccolithophorids. *Deep-Sea Research II* 49: 4035-4050.
- Schwab, C., Kinkel, H., Weinelt, M., Repschläger, J. (2012). Coccolithophore paleoproductivity and ecology response to deglacial and Holocene changes in the Azores Current System. *Paleoceanography*, 27, PA3210, doi:10.1029/2012PA002281.
- Segar, D.A. (1998). *Introduction to Ocean Sciences*. Wadsworth Publishing Company.
- Voelker, A.H.L., Lebreiro, S.M., Schoenfeld, J., Cacho, I., Erlenkeuser, H., e Abrantes, F. (2006). Mediterranean outflow strengthening during northern hemisphere coolings: A salt source for the glacial Atlantic? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 245 (1-2), 39-55, doi: 10.1016/j.epsl.2006.03.014.
- Wefer, G., Berger, W.H., Bijma, J. e Fischer, G. (1999). Clues to Ocean History: a Brief Overview of Proxies. In: Fischer, G., Wefer, G. (Eds). *Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 1-68.